



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

RACIONALIZACE TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ

RATIONALIZATION OF MACHINING TECHNOLOGY

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jakub Plančar

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Karel Osička, Ph.D.

BRNO 2018

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Bc. Jakub Plančar**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **Ing. Karel Osička, Ph.D.**
Akademický rok: 2017/18

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Racionalizace technologie obrábění

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Racionalizace technologie obrábění s cílem zvýšení produktivity a vyráběného objemu součástí.

Cíle diplomové práce:

- Teoretické aspekty technologie obrábění.
- Rozbor stávající technologie obrábění pro součástky charakteru hřídelů.
- Výběr kapacitně úzkých míst ve výrobě.
- Návrh variant racionalizačních opatření.
- Rozpracování vybrané varianty.
- Technicko – ekonomické hodnocení včetně určení návratnosti.
- Diskuze výsledků.

Seznam doporučené literatury:

AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ, s.r.o. Příručka obrábění - Kniha pro praktiky. Přel. M. Kudela. Praha: Scientia, 1997. Přel. z: Modern Metal Cutting - A Practical Handbook. ISBN 91-97 22 99-4-6.

KOCMAN, Karel a Jaroslav PROKOP. Technologie obrábění. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2001. 270 s. ISBN 80-214-1996-2.

FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.

ŠTULPA, Miroslav. CNC obráběcí stroje. 2. dotisk, 1. vydání. Praha: BEN - technická literatura, 2008. 128 s. ISBN 978-80-7300-207-7.

SVOBODA, Emil. Technologie a programování CNC strojů. Havlíčkův Brod: FRAGMENT, 1998. 278 s.

HUMÁR, Anton. Materiály pro řezné nástroje. Praha: MM Publishing, 2008. 235 s. ISBN 978-80-2-4-2250-2.

JUROVÁ, Marie. Řízení výroby I, Část 1. 2. přepracované a doplněné vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2005. 81 s. ISBN 80-214-3066-4.

JUROVÁ, Marie. Řízení výroby I, Část 2. 2. přepracované a doplněné vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2006. 138 s. ISBN 80-214-3134-2.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2017/18

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

Abstrakt

Diplomová práce je zaměřena na návrh racionalizačních opatření pro obráběcí pracoviště společnosti Siemens. Obráběnými kusy jsou hřídele, základní součásti vyráběných elektromotorů. Úvodní část této studie popisuje teoretické základy technologie obrábění, především frézování. Další část se zaměřuje na představení firmy, rozbor stávajícího pracoviště, jeho technologií a částí. V následující části jsou vytipována slabší místa výroby, a představeny možnosti zlepšení a racionalizace tohoto pracoviště. Následuje rozpracování vybraného racionalizačního návrhu, spolu s technicko - ekonomickým vyhodnocením této změny výroby, které podtrhuje výsledky této studie.

Klíčová slova

Racionalizace, technologie obrábění, obráběcí stroje, frézování, vícestrojová obsluha, spotřební časy

Abstract

This diploma thesis is focused on a design of rationalization solutions for machining workplace in Siemens Company. The machined pieces are shafts, the basic components of the electric motors. The introductory part of this study describes the theoretical basics of machining technology, especially milling. The next part is focused on the company presentation, the analysis of the existing workplace and its technologies and components. In the following section are selected weaker production sites, and then is presented opportunities for improvement and rationalization of this workplace. Following the elaboration of the selected rationalization solution, along with techno – economic evaluation of the production change, which highlights the results of this study.

Key words

Rationalization, machining technology, machine tools, milling, machine coupling, consumption times

Bibliografická citace

PLANČAR, J. Racionalizace technologie obrábění. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2018. 73 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Karel Osička, Ph.D..

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Racionalizace technologie obrábění vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, které jsou uvedeny v seznamu zdrojů této studie, na základě konzultací s vedoucím práce, a s uvedenou společností.

.....
Datum

.....
Bc. Jakub Plančar

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu diplomové práce Ing. Karlu Osičkovi, Ph.D, za spolupráci, cenné rady a připomínky, které mi pomohly při tvorbě této práce. Dále bych rád poděkoval společnosti Siemens za spolupráci, ochotu a cenné připomínky při práci na tomto projektu.

OBSAH

Úvod	7
1. Teoretické aspekty technologie obrábění	8
1.1 Soustružení	8
1.2 Frézování	10
1.2.1 Frézování válcovou frézou	11
1.2.2 Frézování čelní	12
1.2.3 Druhy frézek	13
1.3 Vrtání	17
1.4 Broušení	19
1.5 Výroba závitů	20
1.6 Současné trendy v obrábění	22
1.6.1 CNC obráběcí stroje	22
1.6.2 Vývojové trendy obráběcích strojů	24
1.7 Spotřební časy ve strojírenské výrobě	28
2. Rozbor stávající technologie obrábění pro součástky charakteru hřídelů	31
2.1 Seznámení se společností	31
2.2 Rozbor stávajícího pracoviště	33
2.3 Typový představitel	41
3. Vytipování kapacitně úzkých míst ve výrobě	43
4. Návrh variant racionalizačních opatření	44
4.1 Přistavení dalšího CNC stroje – dvoustrojová obsluha	44
4.2 Přistavení samostatné frézky	45
4.3 Inovace manipulačních zařízení	46
4.4 Přistavení manipulačního robota	47
5. Rozpracování vybrané varianty	48
6. Technicko-ekonomické hodnocení	59
7. Diskuze výsledků	63
7.1 Zhodnocení vybraného racionalizačního opatření	63
7.2 Další možnosti vylepšení výrobního procesu	63
Závěr	66

ÚVOD

Náplní a cílem této technologické studie je zefektivnění obráběcího procesu ve firmě Siemens s.r.o., odštěpný závod Elektromotory Mohelnice. Jedná se o racionalizaci technologie obrábění s cílem zvýšení produktivity a vyráběného objemu součástí. Typ vybraných součástí jsou hřídele, soustružené na obráběcích centrech EMAG VTC 250.

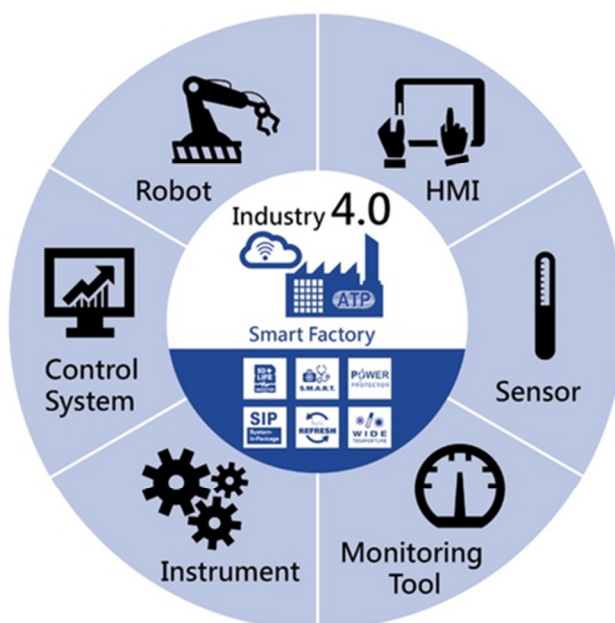
Tato studie se zaměří na rozebrání stávající technologie obrábění hřídelů na daném obráběcím automatu, vytipování a výběr kapacitně slabších míst ve výrobním procesu součástí, a nabídne návrhy variant zefektivnění procesu díky racionalizačním opatřením.

Dále bude rozpracována vybraná varianta racionalizace procesu, případně spolu s ustavením novým strojů ve výrobě.

Po dokončení návrhu varianty ze všech technologických aspektů, se tato práce zaměří na technickoekonomické zhodnocení provedených změn ve výrobě, včetně určení návratnosti původní investice na tyto změny.

Téma této technologické studie můžeme zahrnout do nového pojmu tzv. čtvrté průmyslové revoluce, zkráceně Průmysl 4.0 (obr. 1). Tato průmyslová revoluce zahrnuje např. masové rozšíření internetu, inteligentní systémy, které přebírají lidskou činnost, velké využití čidel, kamer, čteček kódů apod. Při představení této myšlenky na veletrhu v Hanoveru v roce 2013 byl očekávaný růst produktivity společností při této strategii až o jednu třetinu. [24]

Pojem Průmysl 4.0 v dnešní době označuje především současný trend automatizace výroby ve společnostech. Iniciativa manažerů velkých nadnárodních evropských společností a vládních zřízení napříč Evropou má rozdmýchat na výrobním trhu poptávku po nových moderních technologiích, robotizacích pracovištích či řídicích systémech, plně automatizovaných, a co nejvíce nezávislých na lidské obsluze. [24]



Obr. 1 Průmysl 4.0 [24]

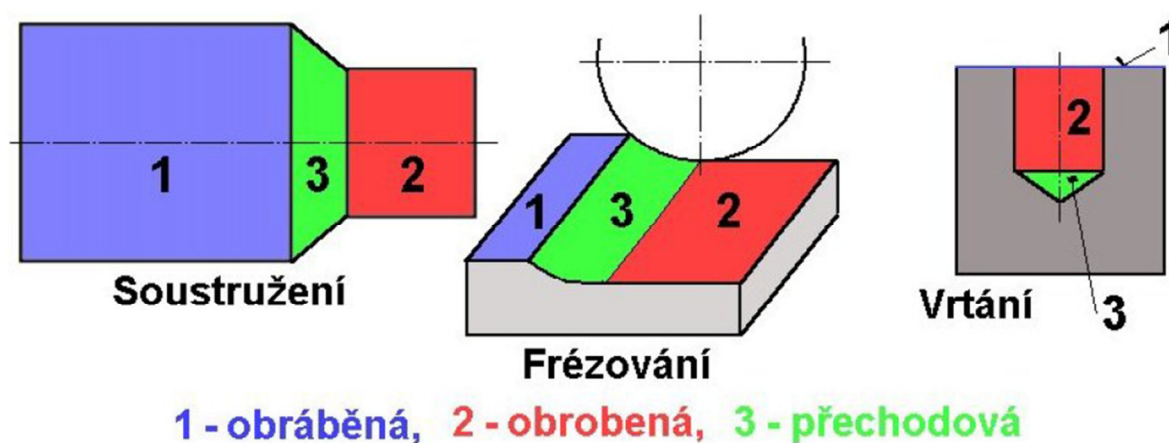
1 TEORETICKÉ ASPEKTY TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ

Technologie obrábění je vědní obor, který zkoumá, studuje a analyzuje vzájemné souvislosti a faktory obráběcího procesu jako hlavní složky výrobního procesu strojírenských součástí. Obrábění je proces, který je uskutečňován v obráběcím systému, který lze rozdělit na několik subsystémů (obráběcí stroje, řezné nástroje, obráběcí prostředí, manipulační prostředky).

Hlavní podstatou výrobní metody obrábění je oddělování částic základního materiálu ve tvaru třísky. Úzce spolupracuje i s jinými technologiemi jako tváření, svařování, slévání, stříhání, atd. [1,2,3]

Rozlišujeme tři základní druhy obrábění: (obr. 2)[4]

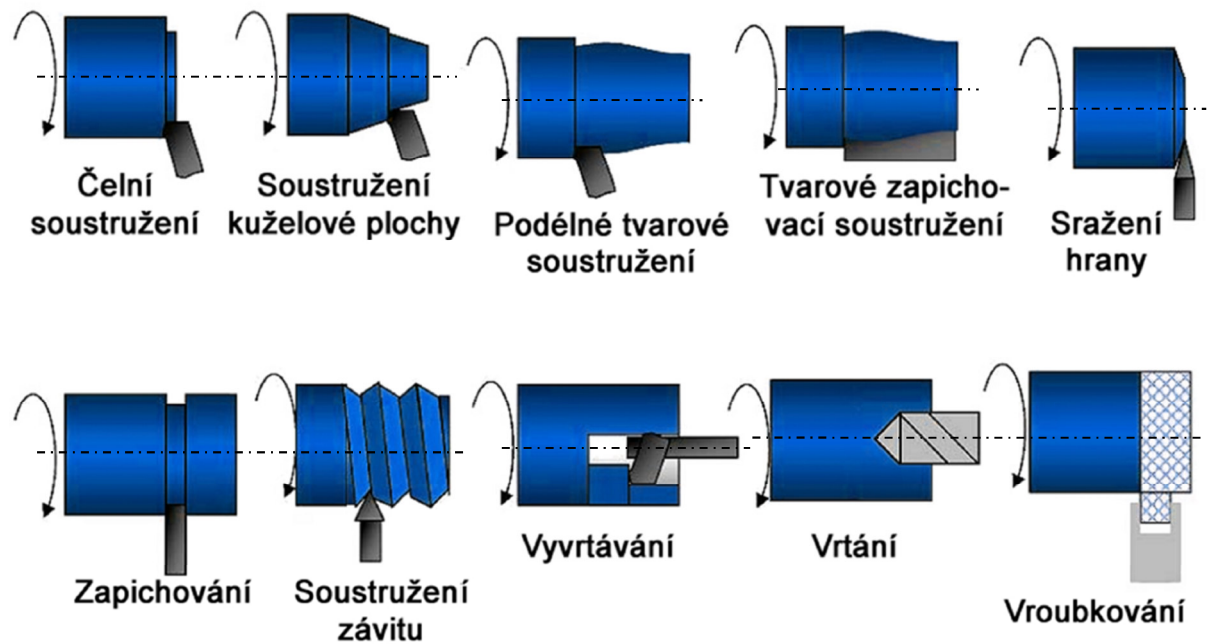
- soustružení,
- frézování,
- vrtání.



Obr. 2 Základní druhy obrábění [4]

1.1 Soustružení

Soustružení je metoda obrábění, která je používána k výrobě rotačních součástí. Tato metoda je z mnoha hledisek považována za nejjednodušší metodu obrábění, a zároveň je jedna z nejpoužívanějších v celém strojírenském odvětví. Touto metodou se obrábí vnitřní i vnější válcové, tvarové a kuželové plochy, rovinné čelní plochy, zápichy, závity, atd. (obr. 3). Na soustruhu lze také vrtat, vystružovat, vyvrtávat, leštit, válečkovat, vroubkovat. [1,2,3,4]

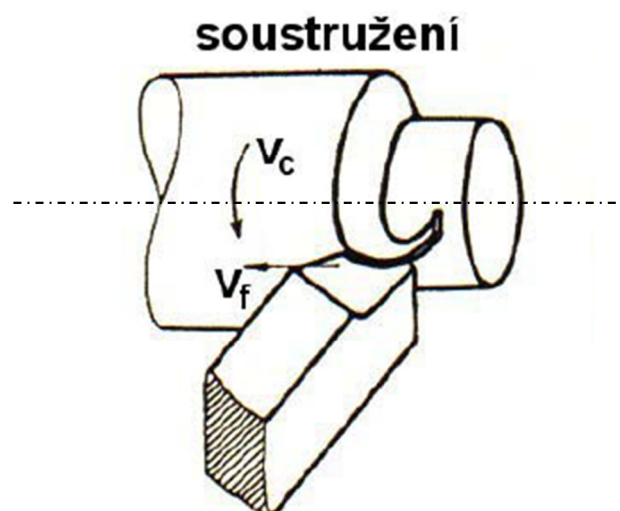


Obr 3 Základní druhy soustružení [1]

Hlavní pohyb u soustružení je rotační, který je vykonáván obrobkem. Nástroj obvykle vykonává pohyb posuvový (přímočarý nebo obecný). Řezný pohyb se při soustružení válcové plochy realizuje po šroubovici a při soustružení čelní plochy má tvar Archimédovy spirály. (obr. 4, 5) [1,2,3,4]

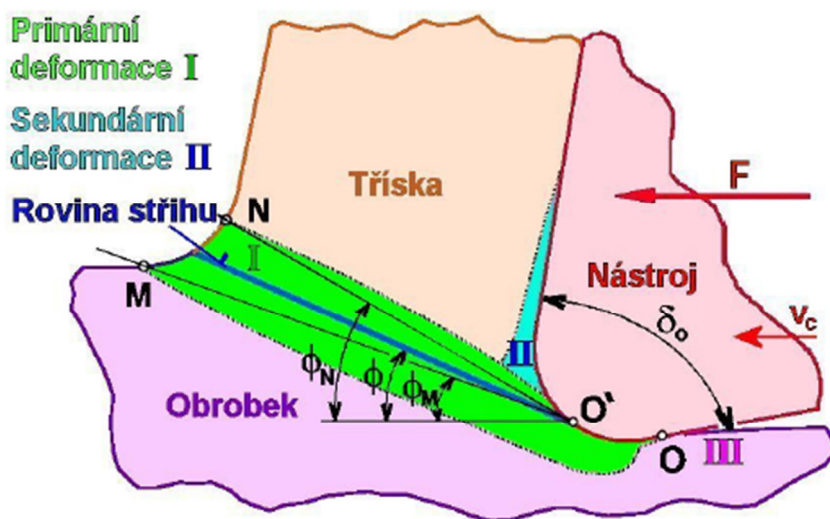
Při soustružení se zohledňuje mnoho faktorů, ovlivňujících řezný nástroj: [1,2,3,4]

- materiál obrobku,
- tvar obrobku,
- způsob obrábění,
- podmínky při obrábění, apod.



v_crychlost řezná
 v_frychlost posuvová

Obr. 4 Znázornění procesu soustružení a základní kinematiky [4]



Obr. 5 Znázornění oddělování třísky a oblasti deformací materiálu při soustružení [4]

Rozdělení soustruhů: [1,2,3,4]

- dle stupně automatizace:
 - ručně ovládané,
 - poloautomatické,
 - automatické,
- dle konstrukčně technologického hlediska:
 - hrotové,
 - revolverové,
 - svislé,
 - speciální.

1.2 Frézování

Frézování je metoda třískového obrábění vícezubým rotujícím nástrojem (frézou). Fréza odebrává z obrobku vrstvu materiálu ve formě jednotlivých drobných třísek. Hlavní pohyb je rotační a koná ho fréza. Z toho plyne, že obrobek koná pohyb posuvný, který je v dnešní době možné realizovat plynule ve všech směrech, díky moderním obráběcím centrům. Proces řezání frézou je přerušovaný, což zapříčiní proměnné tloušťky třísek. [1,2,3,4]

Proces frézování lze rozdělit podle několika hledisek: [1,2,3,4]

- dle použitého nástroje:
 - frézování válcovou frézou,
 - frézování čelní frézou,
- dle směru rotace nástroje ke směru posuvu obrobku:
 - sousledné frézování,
 - nesousledné frézování,

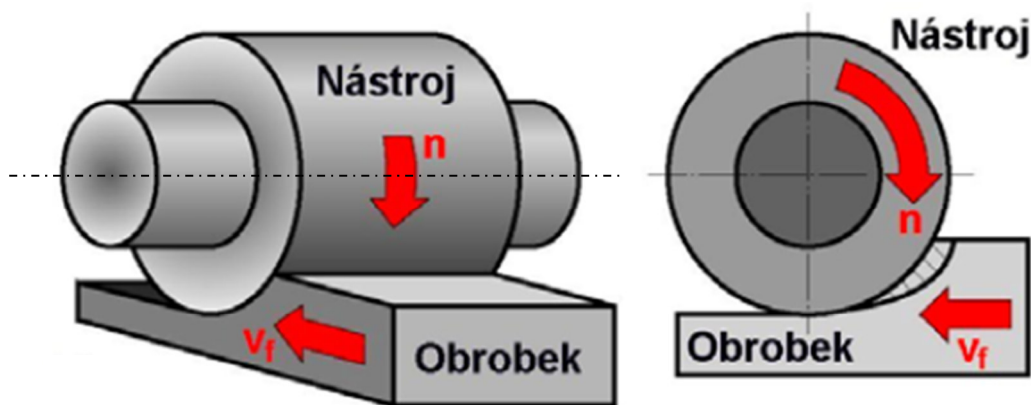
- dle způsobu frézování a ploch:
 - rovinné plochy,
 - tvarové plochy,
 - drážky,
 - osazení,
 - obrábění hran,
 - drážkování a dělení.

1.2.1 Frézování válcovou frézou: [1,2,4]

- zuby na válcové fréze jsou umístěny na obvodu nástroje,
- obrobená plocha a osa rotace frézy jsou k sobě navzájem rovnoběžné,
- hloubka řezu je nastavena kolmo k ose frézy a směru posuvu,
- dle kinematiky procesu lze válcové frézování rozdělit na sousledné (souměrné) a nesousledné (protisměrné).

Sousledné frézování [3,4]

Smysl rotace nástroje (frézy) je při sousledném frézování shodný se směrem posuvu obrobku. (obr. 6) Oddělovaná tříška má největší tloušťku při vnikání zubu nástroje do obrobku. Tloušťka třísky se pokračujícím procesem snižuje až na nulu. Při sousledném frézování je odpor proti posuvu F_o menší než u nesousledného, protože fréza se snadněji zařizne. Síly F_c (řezná síla) a F_o se však sčítají, takže výsledná síla F_v je větší než u nesousledného frézování, a působí směrem ven z materiálu. Směr výsledné síly způsobuje odtahování obrobku od nástroje.



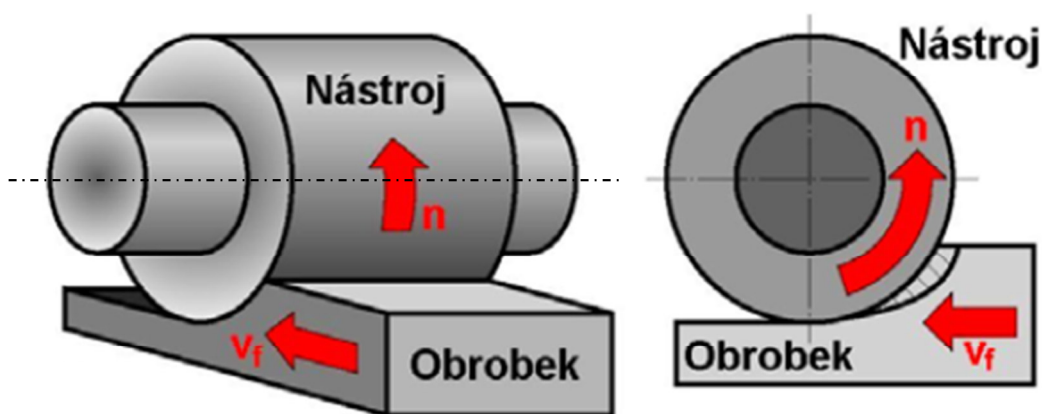
Obr. 6 Znázornění sousledného frézování [4]

Výhody sousledného frézování: [3,4]

- menší potřebný výkon stroje,
- menší drsnost obrobené plochy,
- vyšší trvanlivost břitů nástroje,
- lze použít vyšší řezné rychlosti a posuvy,
- menší sklon ke chvění.

Nesousledné frézování [3,4]

Smysl rotace nástroje (frézy) je při nesousledném frézování proti směru posuvu obrobku. (obr. 7) Oddělovaná tříska je nejmenší při vniku zubu frézy do obrobku, a postupně její tloušťka roste až do maximální hodnoty. Při nesousledném frézování je významná síla odporu proti posuvu F_o , protože fréza je nucena se zařezávat do nulové tloušťky třísky, takže se nejprve odtlačuje, do doby než se zařízne. Síly F_o a F_c se vzájemně odečítají. Výsledná síla F_v je poměrně malá, a působí směrem do materiálu. Směr řezné síly způsobuje vtahování obrobku nástrojem.



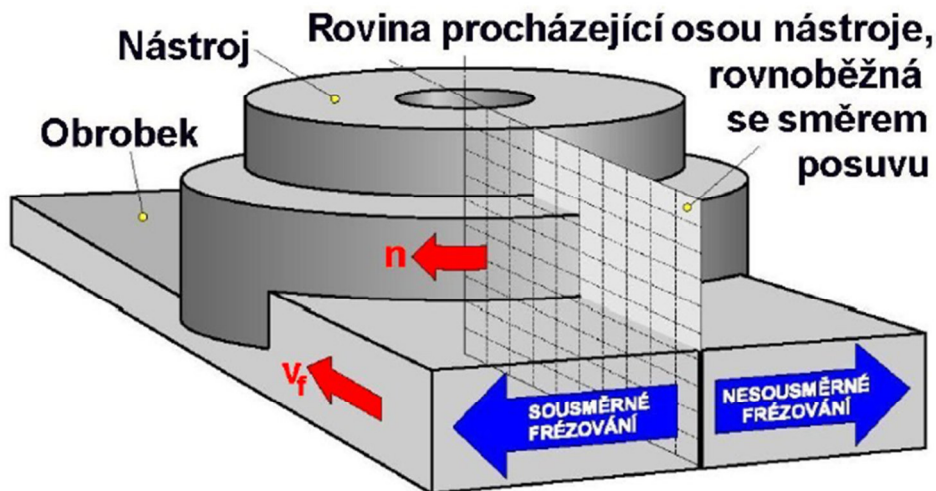
Obr. 7 Znáznornění nesousledného frézování [4]

Výhody nesousledného frézování: [3,4]

- záběr zubů frézy nezávisí na hloubce řezu při jejich vnikání do obrobku,
- trvanlivost nástroje není závislá na nečistotách na povrchu obrobku.

1.2.2 Frézování čelní: [1,2,4]

- čelní frézy mají břity vytvořeny jak na obvodu nástroje, tak i na jeho čele,
- u čelního frézování operuje fréza současně sousledně i nesousledně (obr. 8),
- hloubka řezu je nastavována ve směru osy otáčení frézy,
- obrobená plocha je kolmá na osu otáčení frézy,
- celkově je čelní frézování účinnější než frézování obvodové, z důvodu záběru více zubů frézy najednou (dovoluje vyšší posuvové rychlosti),
- nejčastěji se používají frézy s úhlem nastavení 45° , ale za určitých podmínek se také používají frézy s kruhovými břitovými destičkami, frézy pro frézování do rohu nebo kotoučové frézy.



Obr. 8 Znázornění čelního frézování [4]

Rozdělení frézek: [1,3,4]

- dle řezného materiálu,
- dle tvaru zubu,
- dle směru zubů,
- dle konstrukčního uspořádání,
- dle geometrie (zuby na čelní/válcové ploše).

Frézovací stroje [1,3,14]

Na dnešním trhu se nacházejí frézky ve velkém počtu modelů o různých velikostech, vybaveny širokou škálou příslušenství. Rozhodujícím kritériem určujícím velikost frézovacího stroje je šířka upínací plochy, a velikost kužele ve vřetenu (pro upínání nástroje).

Rozdělení dle řízení pracovního cyklu:

- ručně ovládané,
- řízené programem
 - tvrdá automatizace,
 - pružná automatizace.

1.2.3 Druhy frézek: [4,11,14]

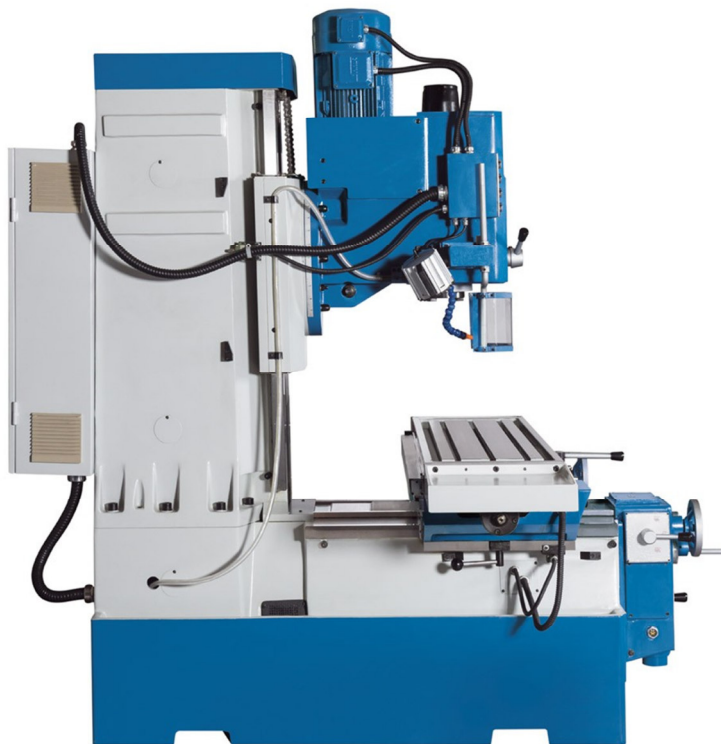
- stolové frézky,
- konzolové frézky,
- rovinné frézky,
- speciální frézky,
- CNC frézovací centra.

Stolové frézky [4,11,14]

Tento typ frézky se používá především k obrábění obrobků s většími rozměry a větší vahou. Jejich hlavním poznávacím znakem jsou dva stoly, příčný a podélný stůl (nemají konzoli), které mají předem definovanou a neměnnou nastavitelnou výšku. Vertikální pohyb stroje (pro nastavení nástroje vzhledem k obrobku) umožňuje posuvný vřeteník. Pohyb v dalších dvou osách zajišťuje pracovní stůl. Tyto frézky jsou obvykle přesnější a tužší než frézky konzolové. Na obr. 9 je uveden příklad stolové frézky.

Jednotlivé typy stolových frézek: [11,14]

- vodorovné,
- svislé.



Obr. 9 Příklad stolové frézky [12]

Konzolové frézky [4,11,14]

Frézky konzolové jsou nejpoužívanější typ frézek. Název je odvozen z posuvné konzole, kterou mají tyto frézky na stojanu. Na této konzoli je umístěn pracovní stůl. Pracovní stůl zajišťuje posuv v podélném a příčném směru, posuv konzoly zase umožňuje nastavení obrobku ve svislém směru. Tímto je zajištěn tříosový pohyb obrobku.

Pohon stroje je zajištěn samostatným motorem s převodovkou, který je nezávislý na otáčkách vřetene. Příklad konzolové frézky je znázorněn na obr. 10.

Podle použití a polohy vřetene rozlišujeme: [4,11,14]

- vodorovné konzolové frézky s horizontálním vřetenem,
- svislé konzolové frézky s vertikální osou vřetene,
- kopírovací frézky pro obrábění prostorově složitých tvarů,
- nástrojařské frézky pro výrobu tvarově složitých forem, řezných nástrojů atd.,
- univerzální konzolové frézky.



Obr. 10 Příklad konzolové frézky [10]

Rovinné frézky [4,11,14]

Tento typ obráběcího stroje má velmi robustní konstrukci. Tím umožňuje obrábění těžkých a rozměrných obrobků. Konstrukčně jsou podobné konzolovým frézám, jejich pracovní stůl ale umožňuje pohyb pouze v podélném směru po pevném loži. Posuv svislý a příčný zajišťuje vřeteník s výsuvnou pinolou.

Rovinné frézky se dělí na: [4,11,14]

- jednovřetenové,
- dvouvřetenové.

Pokud má frézka dvě vřetena, tak je druhé vřeteno umístěno na druhém stojanu s vřeteníkem na opačné straně stolu. Vřeteníky jsou na sobě nezávislé a mají vlastní motor i převodovku. Rovinné frézky mohou mít jak svislé, tak vodorovné vřeteníky.

Na rovinných frézkách se většinou obrábí plochy rovinné, svislé i šikmé. Drážky rozměrově větších součástí se obrábí pomocí frézovacích hlav, kotoučových, čelních a skládacích fréz.

Rovinné frézky jsou někdy konstruovány jako portálové. Konstrukci tvoří dva tuhé stojany spojené příčnicí. Většinou jsou opatřeny dvěma bočními vřeteníky na stojanech a jedním či více svislými vřeteníky na příčnici. Tyto frézky se vyznačují velkým výkonem a velice dobrou geometrickou přesností. Příklad rovinné frézky na obr. 11. [4,11,14]



Obr. 11 Příklad rovinné portálové frézky [13]

Speciální frézky [4,11,14]

Do těchto typů frézek patří frézky pro speciální frézovací operace. Od ostatních typů se liší především konstrukcí, ale i možnostmi otáčení obrobku během obrábění, nebo možnostmi kombinovat posuvy.

Mezi speciální frézky se řadí: [4,11,14]

- frézky na závity,
- frézky na drážky,
- frézky na vačky,
- frézky na ozubení,
- pantografické frézky - frézování číslic, písmen apod. (obr. 12),

- karuselové frézky,
- bubnové frézky,
- frézky pro rotační frézování.



Obr. 12 Příklad speciální frézky - pantografická frézka [15]

1.3 Vrtání [2,3]

Vrtání (obr. 13) je výrobní metoda třískového obrábění, určená k obrábění vnitřních válcových ploch. Tyto plochy mohou být zhotovovány vrtáním do plného materiálu nebo do předpracovaných otvorů. (obr. 14)

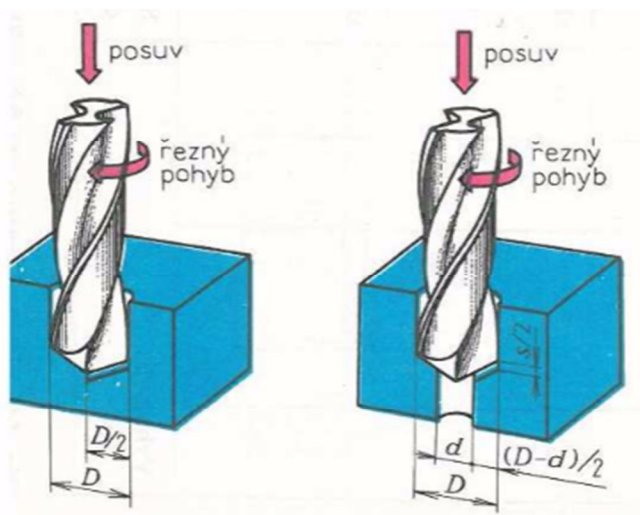
Hlavní pohyb je rotační a je vykonáván nástrojem (vrtákem). Rotační pohyb může vykonávat i obrobek, ale to je méně časté. Osa vrtáku je ve většině případů kolmá na pracovní plochu, kde vrták vstupuje do materiálu. Vedlejším pohybem je pohyb posuvový, který je vykonáván nástrojem (vrtákem) ve směru jeho osy. [2,3]



Obr. 13 Vrtání [5]

Na rozdíl od soustružení nebo frézování se u vrtání kladou vysoké požadavky na utváření třísky a její odvod. Čím je hloubka díry větší, tím větší je nutnost zajištění správného a kontrolovaného odvodu třísky z díry. Velmi důležitým kritériem při odvodu třísky je poloha vrtání, objemové množství a hodnota tlaku řezné kapaliny.

Charakteristickou vlastností všech nástrojů pro vrtání je snižování řezné rychlosti podél hlavního ostří ve směru od obvodu k ose vrtáku. V ose nástroje je řezná rychlost nulová. Z tohoto důvodu se za řeznou rychlost u vrtání považuje rychlost obvodová, tedy rychlost na největším průměru vrtáku. [2,3]



Obr. 14 Schéma vrtání do plného a předvrtaného materiálu [4]

Rozdělujeme několik druhů vrtáku: [1,2,3]

- šroubové vrtáky,
- kopinaté vrtáky,
- vrtáky s vyměnitelnou špičkou,
- vrtáky s vyměnitelnými břitovými destičkami,
- ejektorové vrtáky,
- dělové a hlavňové vrtáky.

Druhy vrtaček: [1,2,3]

- stolní vrtačky,
- sloupové vrtačky,
- stojanové vrtačky,
- montážní vrtačky,
- otočné vrtačky,
- speciální vrtačky.

1.4 Broušení [2,3]

Broušení je dokončovací metoda, která spadá do abrazivních metod obrábění (obr. 15). Broušení je využíváno především tam, kde jsou kladeny vysoké nároky na přesnost, tvar rozměrů a jakost povrchu. Při vzájemném pohybu nástroje vůči obrobku vnikají zrna brusiva do odebírané vrstvy obráběného materiálu, kde v určité hloubce materiálu dojde k jeho odříznutí v podobě třísky. [2,3]



Obr. 15 Broušení [23]

Brousicí kotouč má na rozdíl od nástrojů jiných obráběcích operací jednu specifickou vlastnost. Jedná se o samoostřící schopnost. Tato vlastnost specifikuje vazbu mezi brousicím kotoučem a zrnem. V důsledku zvyšování řezných sil na otupovaných zrnech, dojde k jejich vylomení, a následně nahrazení zrny neotupenými. [2,3]

Broušení lze rozdělit podle mnoha hledisek: [2,3]

- dle aktivní části broušicího kotouče:
 - čelní broušení,
 - obvodové broušení,
- dle vzájemné polohy obrobku a broušicího kotouče:
 - vnější broušení,
 - vnitřní broušení,
- dle tvaru obrobeného povrchu a jeho vytvoření:
 - rovinné broušení,
 - broušení do kulata,
 - tvarovací broušení,
 - kopírovací broušení,
 - broušení na otáčivém stole,
 - broušení tvarovými kotouči,
- dle hlavního posuvového pohybu stolu vzhledem ke kotouči:
 - axiální broušení,
 - radiální broušení,
 - tangenciální broušení,
 - obvodové zápichové broušení,
 - čelní zápichové broušení.

1.5 Výroba závitů [2,3]

Závity jsou významným spojovacím, nebo pohybovým prvkem mnoha součástí. O vhodném typu nástroje rozhodují vlastnosti obráběného materiálu a jeho funkčnost.

Rozdělení výroby závitů: (obr. 16) [2,3]

- řezání závitů,
- soustružení závitů,
- frézování závitů,
- tváření závitů,
- broušení závitů.

Řezání závitů

Využívají se kruhové závitové čelisti s vratidlem, závitové hlavy (radiální, tangenciální čelisti) s kotoučovými noži. Pro řezání vnitřních závitů se používají závitníky. Rozdílem mezi strojním a ručním řezáním závitů je ten, že strojní řezání nevyužívá vratidlo. [2,3]

Soustružení závitů

Provádí se na univerzálních, revolverových, poloautomatických i automatických soustruzích. Nejvíce používané jsou radiální závitové nože. Tyto nože se využívají pro řezání závitů pravých, levých, vnitřních i vnějších. [2,3]

Frézování závitů

Fréza má profil závitové mezery, stoupání závitu je definováno úhlem vyklonění. Za jednu otáčku se posune fréza o délku stoupání jednoho závitu. Monolitní vrtací závitové frézy umožňují provést tři různé operace během jednoho pracovního cyklu bez výměny nástroje, a to vrtání díry, frézování sražení, řezání závitu. Další fréza schopná frézovat závity je fréza hřebenová válcová. Tyto frézy mohou být buď nástrčné, nebo stopkové (VBD – velice produktivní frézování závitů vnitřních, vnějších, levých i pravých). [2,3]

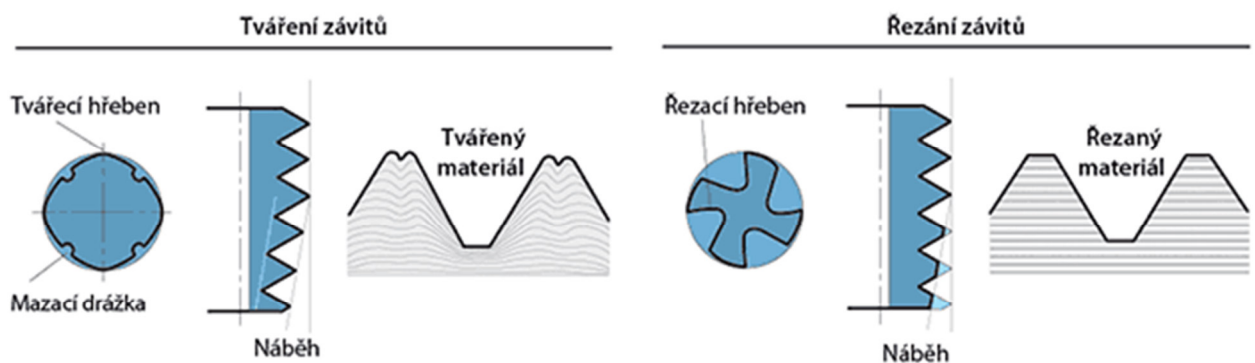
Tváření závitů

Jednou z nejproduktivnějších metod je tváření závitů válcováním. Při této metodě je materiál plasticky deformován a nedochází ke vzniku třísky obráběním. Největší výhodou tváření závitů oproti řezání závitů je právě absence třísek, a tím pádem nenarušení vnitřní struktury obráběného materiálu (dochází ke zpevnění). Válcování se realizuje pomocí kotoučových nebo plochých čelistí. [2,3]

Broušení závitů

Tento způsob výroby závitů je využíván především pro přesně šrouby, u kterých je kladen důraz na profil, drsnost povrchu a stoupání závitu. Využívá se hřebenového nebo jednodílnového kotouče.

Vnitřní závity jsou vzhledem k obtížnému nastavení broušeny kotoučem s malým průměrem. [2,3]



Obr. 16 Výroba závitu – tváření závitů x řezání závitů [25]

1.6 Současné trendy v obrábění [1,6,24]

Průmysl obráběcích strojů je v dnešní době nucen čelit řadě vývojových procesů ovlivňujících investiční rozhodnutí svých zákazníků. Vedle stále dominujících témat, jako jsou Průmysl 4.0 a zlepšení účinnosti, je zde také hybridizace strojů, software a IT bezpečnost, zvýšení inteligence strojů a simulace kompletního obrábění. [1,6,24]

Průmysl 4.0

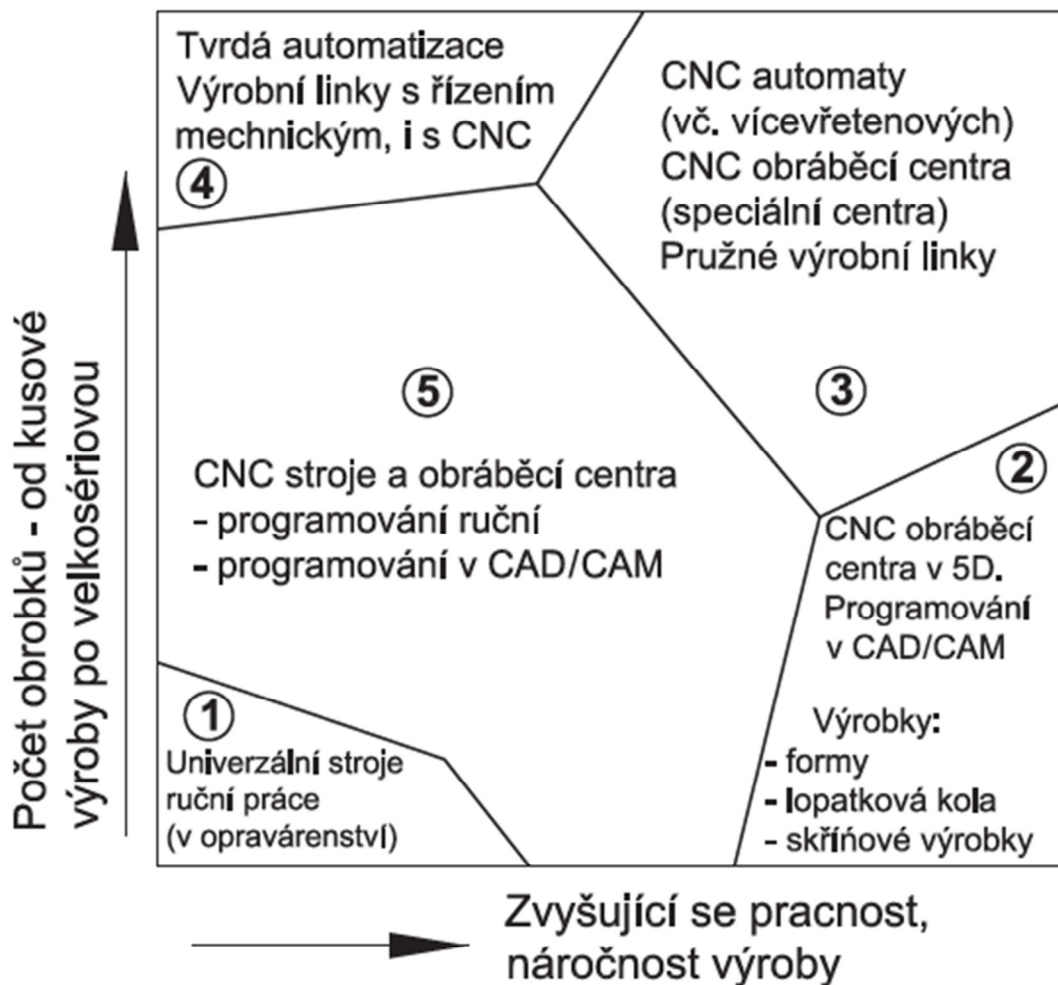
Tento výraz označuje dnes již celoevropskou iniciativu manažerů velkých evropských firem a vládních činitelů napříč EU (tzv. 4. průmyslová revoluce), které mají evokovat ve společnosti poptávku po nových moderních technologiích, průmyslových spotřebních a urychlit tak vývoj robotizace a moderních plně automatických řídicích systémů, co nejvíce nezávislých na lidské obsluze. [24,26]

Současný vývoj na trhu výrobních strojů je z velké části ovlivňován využitím výpočetní techniky. Řízení strojů za použití příslušných softwarů a programů zásadně zvyšuje jejich technickou hodnotu. Vysoce hodnoceným výstupem takto řízených strojů je jejich rychlost, přesnost a spolehlivost při opakování potřebných činností. Druhou stranou takto technologicky vyspělých strojů je omezení počtu pracovníků, potřebných pro obsluhu těchto strojů. Z hlediska vlastníka těchto strojů, firmy, ale tyto stroje vedou k usnadnění a zrychlení práce, zvýšení výkonu, efektivnosti i přesnosti výroby, a především ke zvýšení celkové produktivity práce. [24,26]

1.6.1 CNC obráběcí stroje [6,7,9]

Na dnešním trhu s CNC obráběcími stroji probíhá jejich neustálá modernizace a vývoj, který se rychle uplatňuje i v praxi. Tomuto trendu nahrává i neustálé snižování cen řídicí techniky i strojů vzhledem k jejich rostoucímu množství a rostoucí užité hodnotě. Mezi hlavní dominanty těchto strojů patří větší komfort při programování stroje, snižování výrobních a vedlejších časů, a větší obsah nabízených funkcí.

Tyto technické pokroky logicky vedou ke snížení počtu konvenčních strojů využívaných ve výrobě. Vývoj automatizovaných strojů a CNC obráběcích center je znázorněn na obr. 17. [6,7,9]



Obr. 17 Vývoj automatizovaných strojů ve výrobě [6]

Konstrukce aktuálně trhem nabízených CNC strojů je vysoce modulární. Je kladen důraz na to, aby bylo co nejlépe a co nejrychleji možné vyhovět a uspokojit všechny potřeby a požadavky zákazníka, a zároveň snížit náklady na výrobu.

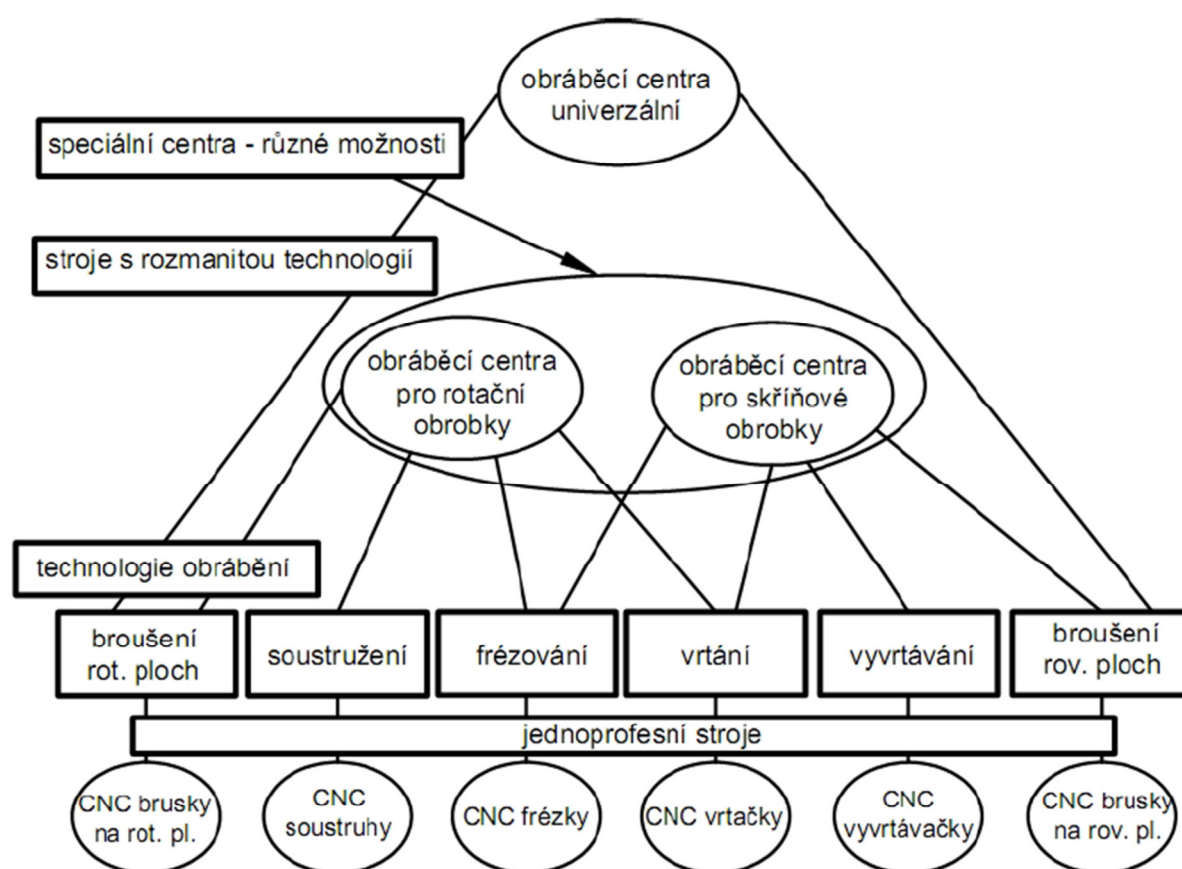
CNC obráběcí centra jsou schopna kombinovat hned několik různých druhů obrábění, ale také mohou vykonávat i jiné, například tvářecí, operace. Takovou tvářecí operací, kterou je CNC obráběcí centrum schopno vykonat je např. válcování závitů. [6,7,9]

Na trhu můžeme najít i specializované, jednoúčelové CNC automaty pro hromadnou a velkosériovou výrobu. Tyto automatizované stroje mohou být na výrobním pracovišti doplněny o kontrolní stanoviště, manipulační techniku (jeřáby, manipulační ramena, roboty) a další prostředky, které dohromady vytváří pružně fungující výrobní linky. Tyto typy pracovišť jsou vhodné pro výrobu malosériových zakázek, z důvodu snadné manipulace s výrobky mezi sériemi, a snadné přenastavení výrobního pracoviště na jiný typ výrobku.

S nástupem těchto automatizovaných strojů se ve výrobě postupně vytrácí starší konvenční obráběcí stroje, které se přesunují především do oblastí menších výroben a menších podnikatelů, popř. do oblasti opravárenství. S tímto trendem naplňování výrobních hal automatizovanými stroji jsou spojeny i nové požadavky na

kvalifikaci pracovníků. Především se jedná o znalost výpočetní techniky CNC obráběcích center, a jejich programování. [6,7,9]

Ve strojírenské výrobě se nachází pouze velmi omezené množství součástek, které lze vyrobit pouze jednou technologií. Proto se z výrobních a ekonomických hledisek cílí ke sloučení několika způsobů technologie obrábění do jednoho obráběcího centra. Díky těmto sloučením několika technologií do jednoho stroje dojde ke snížení, nebo k úplnému odstranění vedlejších časů, které výrobu provázely. Do těchto vedlejších časů spadá především manipulace výrobku mezi stroji, upínání výrobku na dalším stroji, atd. Tento způsob slučování technologií může vést až ke vzniku univerzálních obráběcích center. Tento progres je znázorněn na obr. 18. [6,7,9]



Obr. 18 Vývoj CNC strojů až po obráběcí centra [9]

1.6.2 Vývojové trendy soudobých obráběcích strojů [6,7,8,9,27]

V dnešní době je velice žádoucí neustálé zlepšování obráběcích strojů. Jsou kladeny neustále vyšší a vyšší nároky na obráběcí stroje. Dnešní technický trh je plný zákazníků, firem a společností, kteří očekávají, že obráběcí stroje budou přesnější, univerzálnější, méně závislé na obsluze, lépe využitelné při změnách výroby a lépe se budou zapojovat do integrované výroby. [6,7,8,9,27]

Současně jsou kladeny i vysoké nároky na výrobce obráběcích strojů a nástrojů z důvodu požadavků firem na spolehlivé a levné obrábění nových materiálů, snadnější technologickou přípravu výroby, vyšší energetickou účinnost strojů apod. [6,7,8,9,27]

Se současným pokrokem v technologiích je velký nárok na modernizaci obráběcích strojů, aby splňovaly určité požadavky, např. v těchto oblastech: [7,9,27]

- nové materiály,
- snižování hmotností nosných konstrukcí i pohonů,
- vývoj elektroniky, mechatroniky, nanotechnologií, biotechnologií klade větší důraz na přesnosti a jakosti povrchů materiálů,
- rostoucí nároky na činnost u energetických zařízení (zvyšování přesnosti a jakosti materiálů).

Adaptivní výroba

S pokrokem výrobních technologií obrábění jsou výrobci nuceni častěji měnit výrobu, a to jim lépe umožňují stroje, které jsou univerzálnější. Jedná se o stroje s několika technologickými možnostmi, připravené na změnu ve výrobě, ale i například na změnu umístění stroje ve výrobní hale. [7,9,27]

Pokrok strojů se neděje v oblasti konkrétních parametrů, jako otáčky, výkon, zrychlení, ale klade se důraz zejména na multifunkčnost stroje. Zvyšování multifunkčnosti strojů a jejich schopnosti realizovat čím dál tím více druhů obráběcích operací je velmi významným trendem dnešního trhu. [7,9,27]

Schopnost dodat stroj s přesně připravenou technologií obrábění, žádaným nastavením a nástroji pro výrobu konkrétních dílců je na dnešním trhu očekávaný standart. Dodání stroje i s bohatou škálou již otestovaných technologických případů v podobě technologického portfolia stroje je něco, čím se budou ty modernější stroje odlišovat. Pokud firmy zaměřující se na vývoj obráběcích strojů následně na stroji zkouší a realizují všechny možné případy obrábění obrobků různých velikostí, různých materiálů, s rozdílnými nároky na výkon, jakost a přesnost povrchu, tak těmito příklady zvládnutí všech technologických úkonů obrábění získávají nezpochybnitelnou konkurenční výhodu. [7,9,27]

Minimalizace závislosti na lidské obsluze

Cílem všech výrobců strojů je vytvořit obráběcí stroj s maximální spolehlivostí a samostatností při výrobě. Výhledově ideální výrobní obráběcí prostředky jsou takové, aby jejich uživatel nebyl odkázán na lidskou obsluhu, její kvalifikaci a zkušenosti. Tím by se minimalizovalo riziko chyb způsobené lidským elementem při obsluze stroje. Z toho vychází vysoké požadavky na výrobce obráběcích strojů, především z hlediska diagnostiky stroje, ale zároveň i všech jeho procesů. [7,9,27]

Maximální využití strojů

Kritickým okamžikem ve výrobě na obráběcím stroji může být změna výroby, změna obráběného materiálu, technologie, jiné rozměry kusů, přesnosti, jiné upínání apod. Mocnou součástí obráběcího centra můžeme označit jeho řídicí systém, který je neustále vylepšován a rozšiřován výrobcí. Velký potenciál pro komplexnější využití obráběcích strojů a jejich mechanické stavby je ve vývoji vlastních diagnostických a technologických aplikací a v samotné optimalizaci programovacího kódu pro konkrétní stroj. [7,9,27]

Velmi výhodným prostředkem k podpoře maximálního využití stroje je postupné vzdělávání obsluhy stroje. Kontinuální vzdělávání uživatelů strojů v oblasti technologie, vlastností strojů a nástrojů. Pracovník, popř. obsluha konkrétního stroje, kteří lépe rozumí technologiím stroje a jeho softwaru, a stroj, který má dostatečně velké portfolio otestovaných technologií, jsou základní prvky pro lepší adaptaci stroje na změny ve výrobě. [7,9,27]

Dalším významným kritériem stroje je jeho diagnostika. Pokud se stroj dostane do poruchy, znamená to ztráty pro uživatele. Proto je důležitá dobrá diagnostika stroje, díky níž je stroj schopný rychle určit typ závady, a vhodný způsob její opravy. Pokud se stroj dostane do poruchy a obsluha stroje nedostane zprávu od diagnostiky stroje, kde se závada nachází, a jak ji opravit, dochází k velkým časovým prostojům ve výrobě. [7,9,27]

Digitalizace výroby

Neustále rostou požadavky na lepší monitorování výroby, její kontrolu, vylepšování řízení výroby a její plánování. Pracuje se i na vylepšení výroby ve smyslu lepšího propojení zákazníka, výrobku a výroby. Tyto požadavky vedou k vytvoření konceptů digitalizace zaváděných do výroby, jako např. ICT (*Information and Communication Technology* – Informační a komunikační technologie); *Smart, Virtual and Digital Factories* (- Chytré, virtuální a digitální podniky), nebo nového konceptu Industry 4.0. [7,9,27]

3D prostorové obrábění: [7,9,27]

- plochy technologicky jednoduché i plochy prostorově nepravidelných tvarů,
- snížení ceny výrobku při současném zvýšení kvality,
- proces obrábění probíhá souběžně ve třech a více osách.

HSC (High Speed Cutting – vysokorychlostní řezání): [7,9,27]

- charakterizováno především změnou vzniku třísky a odchodu třísky,
- řezný nástroj pracuje v mnohem vyšších pracovních otáčkách,
- využití suchého, příp. kvazisuchého obrábění (proud vzduchu s malým přídavkem řezného oleje – přimazávání řezné hrany).

Výhody HSC obrábění: [7,9,27]

- dosažení vysoké kvality obrobeného povrchu,
- zvýšení objemu odebraného materiálu při hrubovacích operacích,
- snížení tepelného namáhání řezného nástroje i obrobku (odvod tepla třískou),
- možnost obrábění bez chlazení (značný ekologický dopad).

Hlavním rozdílem mezi klasickým třískovým obráběním běžnými rychlostmi a vysokorychlostním obráběním je mechanismus tvorby třísky. Příklad vysokorychlostního obrábění HSC je znázorněn na obr. 19. [7,9,27]

HFC (High Feed Cutting – vysokoposuvové obrábění): [7,9,27]

- HFM (High Feed Milling – u frézování),
- nejčastěji je metoda využívána při frézování – umožňuje vysoký posuv na zub frézy (až do $f_z = 3 \text{ mm}$) a úběr materiálu s malou hloubkou řezu (do cca $a_p = 2 \text{ mm}$),
- zajišťuje zrychlení výrobního procesu,
- použití speciálních strojních a nástrojových vybavení (nástroje s VBD).

HPC (High Performance Cutting – vysokovýkonné obrábění): [7,9,27]

- někdy označováno jako High Productive Cutting – vysoce produktivní obrábění,
- založeno na velkém úběru třísky,
- využíváno pro hrubovací operace nebo pro zpracování těžko obrobitelných materiálů,
- obrábění ocelí až do tvrdosti 67 HRC (tvrdost rychlořezných ocelí),
- základní podmínkou progresivního obrábění je převaha požadovaných fyzikálních vlastností materiálu řezného nástroje nad obráběným materiálem
- doporučeným nástrojem je kvalitní substrát slinutého karbidu s povlakem vysoké tepelné odolnosti (např. TiAlN),
- zaoblení nebo sražení bříty pro zvýšení stability.

Shrnutí hlavních trendů obrábění: [7,9,27]

- HSC (vysokorychlostní, suché a tvrdé obrábění),
- HFC (růst posuvových a manipulačních rychlostí),
- HPC (růst řezných výkonů),
- aktivní kontrola a diagnostika,
- zvyšování pracovní přesnosti,
- uživatelská přívětivost,
- zvyšování statické, dynamické a teplotní stability.



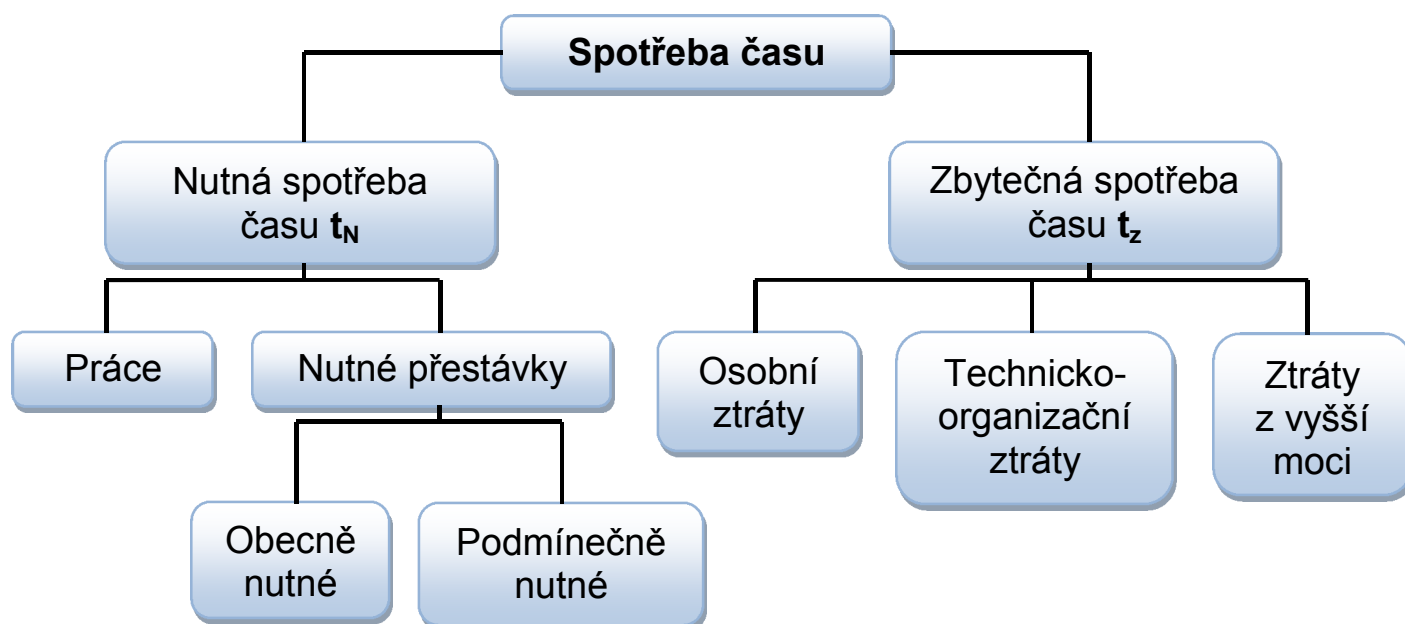
Obr. 19 Příklad HSC – Vysokorychlostní obrábění [28]

1.7 Spotřební časy ve strojírenské výrobě

Celý výrobní proces je definován spotřebou času, která je brána jako měřítko kvality rozvržení a organizace pracovního procesu. Pracovní norma popisující spotřebu času ve výrobě je předpis, který vyjadřuje předpokládanou spotřebu práce dělníka (obsluhy stroje), kterou vynaloží na určitý pracovní úkon. Spotřební časy jsou vyjádřeny pomocí systému klasifikace časů. Tento systém obsahuje časy spotřebované pracovníkem, zařízením, časy související s výrobkem (manipulace, doprava, apod.) a nástrojem. [21,29]

Základní rozdělení spotřebních časů: (obr. 20) [21,29]

- nutná spotřeba času - normovatelný čas t_N ,
- zbytečná spotřeba času - nenormovatelný, ztrátový čas t_Z .

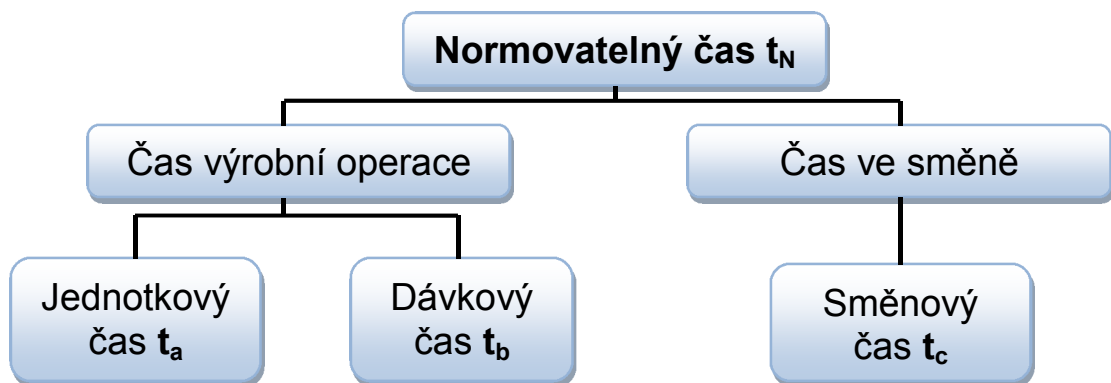


Obr. 20 Základní rozdělení spotřebních časů [29]

Nutné časy z hlediska náplně se označují: [21,29]

- čas práce t_1 ,
- čas obecně nutných přestávek t_2 ,
- oddech, stravování, apod.,
- čas podmíněčně nutných přestávek t_3 ,
- přerušení práce způsobené technikou, organizací (např. čekání na ukončení pracovního úkonu stroje).

Čas normovatelný t_n (nutný) se dále dělí podle jeho opakování při zpracování každého pracovního úkonu nebo směny. (obr. 21) [21,29]

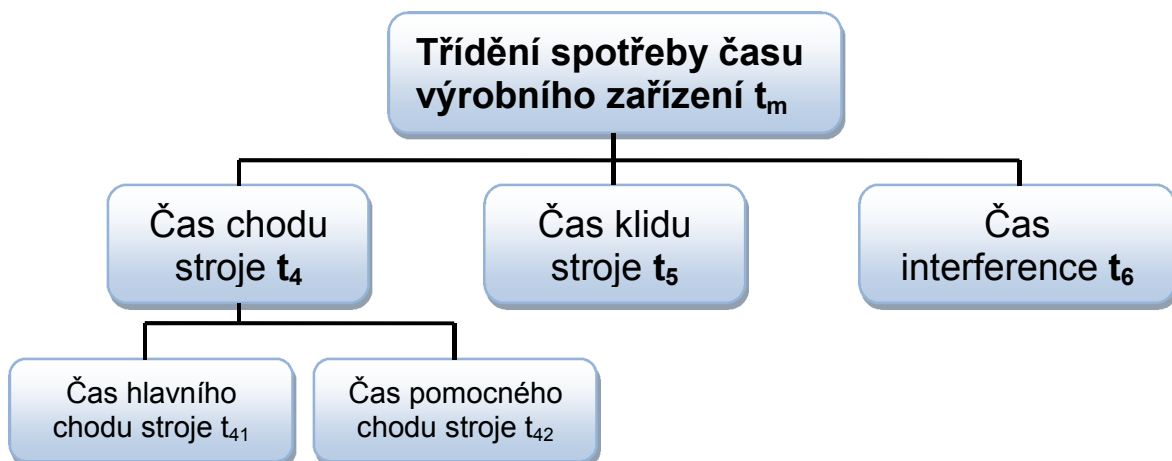


Obr. 21 Rozdělení normovatelného času [29]

Čas jednotkové práce t_{A1} můžeme dále rozčlenit na: [21,29]

- čas za klidu t_{A11} ,
- čas za chodu t_{A12} ,
- čas strojově-ruční t_{A13} ,
- čas nepravidelné obsluhy t_{AX} .

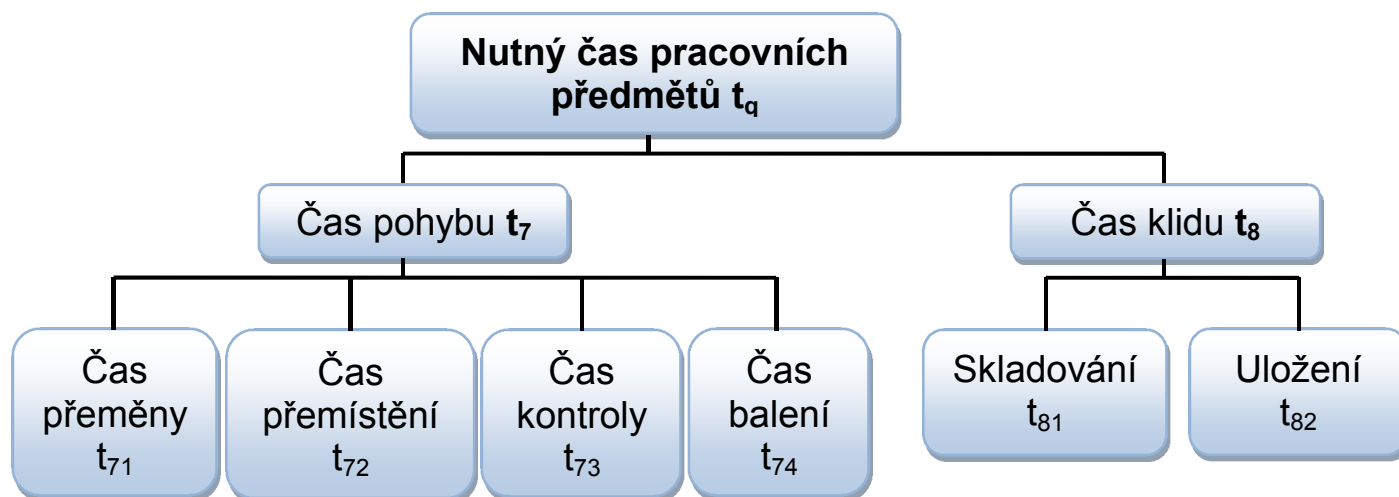
Třídění spotřeby času výrobního zařízení (stroje) t_m můžeme rozdělit podle následujícího schématu: (obr. 22) [21,29]



Obr. 22 Rozdělení spotřeby času výrobního stroje [29]

Rozdělení spotřeby času pracovních předmětů t_q

Toto rozdělení slouží ke klasifikaci a posouzení, jak účelné jsou všechny pohyby pracovních předmětů a jaké je optimální dávkování zpracovávaných materiálů. Vše je řešeno za účelem dosažení plynulého a především bezporuchového pracovního procesu. (obr. 23) [21,29]



Obr. 23 Rozdělení spotřeby času pracovních předmětů [29]

Některé z časů pohybu i klidu se dají dále specifikovat: [21,29]

- čas přeměny t_{71}
 - působením pracovníka t_{711} ,
 - působením výrobního zařízení t_{712} ,
 - působením přírodních sil t_{713} ,
- čas přemístění t_{72}
 - přeprava t_{721} ,
 - umístění t_{722} ,
- uložení t_{82}
 - nevyhnutelné t_{821} ,
 - podmíněčně nutné t_{822} .

2 ROZBOR STÁVAJÍCÍ TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ SOUČÁSTEK CHARAKTERU HŘÍDELŮ

Praktická část této technické studie se zaměřuje na racionalizaci obráběcího pracoviště a výrobního procesu hřídelovitých součástek ve firmě Siemens AG, konkrétně na pracovišti Siemens Elektromotory Mohelnice. Cílem této racionalizace obráběcího procesu je zvýšení produktivity a vyráběného objemu součástí.

2.1 Seznámení se společností

Siemens AG [16,17]

„Skupina Siemens Česká republika je součástí globálního elektrotechnického koncernu Siemens AG, který je již více než 165 let synonymem pro špičkové technologie, inovace, kvalitu a spolehlivost. Společnost působí ve více než 200 zemích a své aktivity rozvíjí zejména v oblastech elektrifikace, automatizace a digitalizace. Siemens AG patří k největším poskytovatelům technologií šetrných k životnímu prostředí. Je jedničkou na trhu v instalaci offshore větrných elektráren, jedním z hlavních dodavatelů pro paroplynové zdroje a technologií pro přenos energie. Siemens patří mezi průkopníky řešení v oblasti veřejné infrastruktury, průmyslové automatizace a softwarových řešení pro průmysl. Společnost je také předním dodavatelem zdravotnických zobrazovacích zařízení a technologií pro laboratorní diagnostiku. Ve finančním roce 2016, který skončil 30. září 2016, dosáhl Siemens obratu 79,6 miliard EUR s čistým ziskem 5,6 miliard EUR a zaměstnával 351 tisíc zaměstnanců po celém světě.“ [16]

Siemens Česká republika [16,17]

„Siemens patří mezi největší elektrotechnické firmy v České republice a již více než 125 let je nedílnou součástí českého průmyslu a zárukou moderních a inovativních technologií. Se svými 10 000 zaměstnanci se řadí mezi největší zaměstnavatele v Česku. Své technologie, výrobky a služby dodává zákazníkům ze soukromého i státního sektoru. Portfolio Siemens pokrývá řešení pro oblast průmyslu, energetiky, dopravy a veřejné infrastruktury, technologie budov a zdravotnictví. Skupina podniků Siemens v České republice vykázala v obchodním roce 2016 obrat přes 29 miliard Kč.“ [16]

Spojením bývalých podniků MEZ Mohelnice, MEZ Drásov a MEZ Frenštát pod Radhoštěm, vznikla 1. 10. 1994 společnost Siemens Elektromotory s.r.o.

V současné době patří společnost Siemens v České republice mezi největší zaměstnavatele v technickém oboru. V České republice Siemens zaměstnává k roku 2018 už více než 11 tisíc lidí. Výrobky společnosti Siemens s označením „Made in Czech republic“ se vyvážejí takřka do celého světa.

Siemens s.r.o. odštěpný závod Elektromotory Mohelnice [16,17]

Odštěpný závod společnosti Siemens v Mohelnici je největším závodem na výrobu asynchronních, nízkonapěťových elektromotorů v Evropě. Poskytuje zaměstnání pro více než 2200 pracovníků a svou produkcí vytváří další stovky pracovních míst a příležitostí u regionálních firem a dodavatelů.

Motory vyrobené v závodě v Mohelnici jsou určeny především k pohonu průmyslových zařízení, jako jsou čerpadla, kompresory, ventilátory, obráběcí stroje, hydraulické komponenty, nebo dřevoobráběcí stroje.

Historie Siemens Mohelnice [16,17]

Historie mohelnického závodu lze datovat už od roku 1904, kdy byla tato společnost založena pro výrobu elektrických zařízení s názvem Ludwig Doczekeal & Comp.

Další milník v historii této společnosti se datuje po roce 1945. Tímto milníkem bylo znárodnění a vznik společnosti MEZ Mohelnice, což byla součást Moravských elektrotechnických závodů, které v době sedmdesátých let 20. století patřily mezi přední Československé strojírenské podniky.

V devadesátých letech minulého století byla v podniku v Mohelnici vybudována slévárna na výrobu odlitků z šedé litiny, s linkou na tlakové lití odlitků.

Velice důležitým milníkem této firmy ve své existenci, je rok 1994, kdy byl státní podnik MEZ Mohelnice prodán německé firmě Siemens. Tento prodej zahrnoval všechny závody bývalých Československých strojíren, a to závody MEZ v Mohelnici, Drásově a Frenštátu pod Radhoštěm.

V roce 2010 došlo v České republice k transformaci těchto závodů do jednoho právního subjektu, kterým je Siemens s.r.o.

V současné době patří tento podnik mezi největší zaměstnavatele jak v Šumperském regionu, tak v celém Olomouckém kraji, s více jak dvěma tisíci zaměstnanci. Nový, moderní vzhled firmy je znázorněn na obr. 24.



Obr. 24 Siemens Elektromotory Mohelnice [17]

2.2 Rozbor stávajícího pracoviště

Jedná se o pracoviště obrobny, kde se obrábí hřídele na hotovo. Toto pracoviště se skládá ze dvou obráběcích CNC center EMAG VTC 250. Na těchto obráběcích automatech se soustruží hřídele pro elektromotory s osovými výškami 160, 180 a 200 mm.

V těchto CNC soustružích probíhá opracování hřídele dle výkresové dokumentace i frézování drážek pro pero. Jako polotovar slouží nařezaný, zarovnaný a navrtaný přířez tyče. Takto připravené přířezy jsou uloženy ve velké kovové paletě o rozměrech 1200x800x600 mm. Pracovník obsluhující stroj uloží přířezy na zásobovací dopravník, který po ukončení jednoho cyklu a vytažení obrobené hřídele ze stroje dopraví další neopracovaný kus do obráběcího centra. Obsluha nastaví příslušný program obrábění, a stroj spustí. Obrobené hřídele jsou po dokončení programu v CNC stroji vytaženy obsluhou ze stroje, je přeměřena jejich přesnost na optickém měřicím přístroji vedle CNC centra, a pokud vyhovují, jsou uloženy do další velké kovové palety o rozměrech 1200x800x600 mm.

Součástí soustruhu je automatický zakladač se zásobou maximálně tří hřídelí s osovou výškou AH200. Zakládání hřídelí do stroje je umožněno jak pomocí automatického zakladače, tak i vložením hřídelí do stroje ručně (popř. pomocí jeřábu).

EMAG VTC 250 [18,19]

Řada obráběcích center VTC od společnosti EMAG je speciálně navržena pro vertikální obrábění hřídelů. Uživatelé těchto vertikálních soustružnických strojů profitují z minimálních výrobních časů, velmi dobré procesní schopnosti a vynikající přesnosti. Stroje umožňují kompletní obrábění hřídelů na jednom stroji, který je plně automatizován. Technologické moduly zajišťují, že stroje VTC lze přizpůsobit individuálním požadavkům. (obr. 25)

Technické specifikace stroje:

- průměr sklíčidla max. 250 mm,
- průměr obrobku max. 140 mm,
- délka obrobku max. 630 / 1000 mm,
- dosah osy X 300 mm,
- dosah osy Z 740 / 1100 mm.

Výhody obráběcího centra EMAG VTC 250:

- čtyřosé obrábění snižuje časy cyklu,
- doba cyklu – současné nakládání a vykládání obrobků snižuje dobu nečinnosti stroje,
- nižší kapitálová náročnost na automatizaci,
- menší manuální zásah – koník a lunety jsou řízeny CNC, obsluha má přímý přístup k soustruhu.



Obr. 25 Obráběcí centrum EMAG VTC 250 [19]

Technické parametry stroje pro firmu Siemens Mohelnice:

- dvě revolverové hlavy (horní a spodní),
- vřeteno a koník,
- čelní unašeč,
- jedna revolverová hlava s osou Y,
- obě revolverové hlavy s poháněnými nástroji,
- luneta upnutá v revolverové hlavě,
- řídicí systém – Sinumerik 840D PCU50,
- revolverová hlava – zásobník nástrojů min. 12 nástrojů,
- max. délka polotovaru 1200 mm,
- max. průměr polotovaru 100 mm,
- min. průměr polotovaru 50 mm,
- min. otáčky 4000 min⁻¹,
- materiál polotovaru konstrukční ocel třídy 11-17,
- přesnost polohování osa X 0,002 mm,
- osa Z 0,007 mm,
- osa Y 0,007 mm,
- rozsah upínacích průměrů 50-100 mm.

Výrobní takt a seřizovací časy pro jednotlivé osové výšky (Tab. 1)**Tabulka 1** Výrobní takt a časy seřízení

AH	max. takt [min/ks]	max. doba seřízení [min]
160	4,6	2
180	7,2	2
200	8,3	2

Technologický postup [21]

Technologický postup je součástí výrobního procesu, který obsahuje souhrn technologických operací. Tyto operace jsou uspořádány postupně, jak na sebe v časovém sledu navazují, a postupně mění vyráběný kus.

V zájmu vysokých požadavků na kvalitu výrobků, jejich funkční spolehlivost a neporuchovost, je nutné při výrobě dodržet určité podmínky provedení práce. Jedná se především o uplatňování výsledků výzkumu technologů a zlepšování výroby. S tím je spojená možná pochybnost s informovaností obsluhy strojů. Proto firma musí bezprostředně vydávat závazné předpisy technického charakteru, podle kterých je řízena výroba daných součástí. Tyto předpisy jsou nazývané jako technologické postupy.

Na celkovou výrobu elektromotorů jsou kladené velmi vysoké nároky, jak po stránce vizuální, tak po stránce kvalitativní. Vzhled obrobenej součástky musí přesně odpovídat opracování, které je uvedeno ve výkresové dokumentaci kusu. Povrch hřídele nesmí obsahovat žádné otlaky nebo jakékoli poškození způsobené upínáním, nebo manipulací s obrobkem. Jakékoli drobné závady či poškození materiálu a vzhledu obrobku vedou k označení vyrobeného kusu jako kus neshodný, který je v 90% neopravitelný.

Obecně se výroba součástky rozděluje do operací, které mapují postup výrobní činnosti. Operací se nazývá výrobní činnost, která je prováděna na jednom stroji při jednom upnutí obrobku. Počet operací není omezen, ale je závislý na několika ovlivňujících faktorech:

- specifikace výrobku – tvar, přesnost, kvalita ploch,
- používaná technologie,
- použití stroj,
- sériovost.

Ve výrobě platí, že s každým novým upnutím se postupně zvyšuje riziko vzniku nerovností, chyb a časového prodlení. Z tohoto tvrzení vyplývá, že čím méně výrobních operací je provedeno, tím lépe pro výrobu. Je tedy potřeba minimalizovat počet výrobních operací. Pokud ale není pro výrobu nutná vysoká přesnost obrobku, je možno rozdělit výrobu na několik jednodušších operací, a tím eliminovat hodnotu vedlejších časů (výměny nástrojů, změny řezných podmínek, apod.).

Technologický postup musí také obsahovat všechny výrobní prostředky použité při výrobě součásti (nástroje, měřidla, přípravky, apod.). Pokud to výrobní specifikace dovolí, jsou používány nástroje standartní, vyráběné hromadně a cenově výhodnější. Pokud je potřeba dosáhnout lepší kvality povrchu, snížit výrobní časy nebo zkvalitnit výrobní proces, jsou voleny specifitější nástroje, často i na zakázku vyráběné. Tyto nástroje jsou ale na podstatně vyšší finanční úrovni.

Současný technologický postup zpracování hřídele: (Tab. 2)

Tabulka 2 Technologický postup pro materiálové číslo 52178180-0

Technologický postup		Materiál: 11 600		Polotovar: Ø55 x 550		
Datum: 13. 3. 2018		Název součásti: Hřídel				Číslo listu: 1
Operace	Pracoviště	Řídicí klíč	Popis operace	Základní množství [ks]	Čas seřízení [min/100ks]	Čas zpracování [min/100ks]
0010	OB0007	IN19	Soustružit dle programu – 52178180-0	100	30	696,500
0020	OB0007		Odjehlit hrany			

Současný technologický postup na tomto pracovišti se skládá pouze ze dvou operací, kterými jsou soustružení podle daného programu v CNC zařízení a odjehlení po frézování, které probíhá ručně, na stejném pracovišti (čas odjehlení je zahrnut do operace 0010). Část programu pro obrábění hřídele na obráběcím centru EMAG znázorněna na obr. 26.

```

;-----
N2 ; Parametry pro obrábění obrobku
;-----
NS_Prg_Pr[1]="L600_S" ; Název programu: obrábění
NS_Prg_Pr_Ccut[1]=" " ; Název programu: kontrolní řez
NS_Prg_TList[1]="T_List1" ; Název programu: seznam nástrojů
NS_Prg_Aut[1]="L818_Ch1" ; Název programu: automatizace
NS_Prg_Freemove[1]="";"L921" ; Název programu: uvolnění
NS_Prg_Warmup[1]="L9001" ; Název programu: zahřívání
;
NR_WoY[1,1]=000.000 ; Posunutí nulového bodu osy Y G54 zhruba
NR_WoZ[1,1]=140.0-0.4 ; Posunutí nulového bodu osy Z G54 zhruba
NR_WoC[1,1]=000.000 ; Posunutí nulového bodu osy C G54 zhruba
NR_Sp[1,1]=3250 ; 1. vřeteno: omezení otáček
NR_LT[1,1]=6000 ; Lifetool omezení otáček
NR_Sp[1,2]=3 ; 1. vřeteno: směr otáčení po upnutí polotovaru
NR_Sp[1,3]=500 ; 1. vřeteno: otáčky po upnutí polotovaru
NS_Tool[1,0]="R1_T1" ; Název nástroje po upnutí polotovaru
NI_DNr[1,0]=1 ; 1. vřeteno: D-číslo po upnutí polotovaru
NI_Plane[1,1]=18 ; 1. vřeteno: 1. úroveň obrábění

```

Obr. 26 Část programovacího kódu pro hřídel AH180

Obráběcí nástroje

Nástroje pro obráběcí centra CNC jsou konstruovány pro speciální konstrukci, tzv. stavebnicovou. Tato konstrukce obráběcí hlavy obsahuje spoustu prvků, jako základní držák, upínací členy, prodlužovací členy, redukční členy, řeznou část nástroje a samotný nástroj. Seřízení těchto obráběcích hlav probíhá speciálně mimo stroj, aby velikosti nástrojových prvků odpovídaly velikostem nástrojů v obráběcím programu. [3,9]

První dvě pozice na nástrojové hlavě (T10-T9) v obráběcím stroji EMAG VTC 250 jsou určeny pro frézovací nástroje potřebné pro frézování drážek na hřídelích. Všechny další pozice (T8-T1) jsou obsazeny nástroji pro soustružení. Základní držák i s dalšími pozicemi držáku nástroje a nástroje samotného na obr. 27.

Tabulka 3 Nástrojový layout EMAG VTC 250

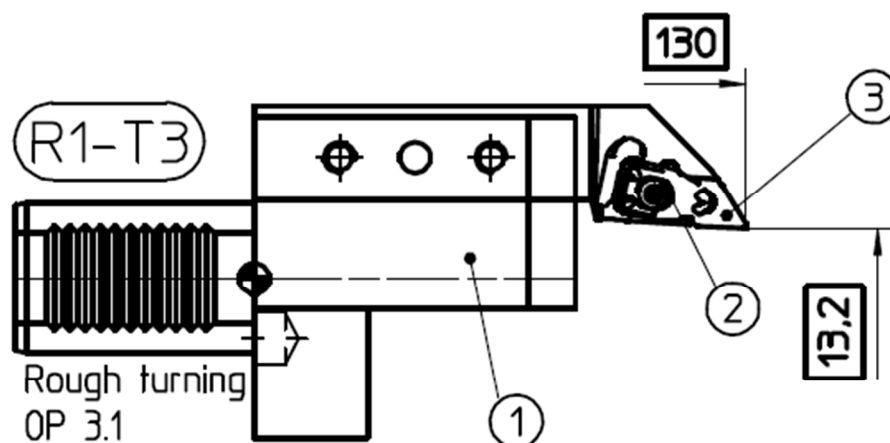
Označení pozice	Pozice	Typ nástroje	Označení nástroje	Dodavatel	Počet nástrojů
R1-T10	3	fréza	D1100-7456675 IH11.7-2D12	Walter	1
	2	držák nástroje MI40	00018698-M (Ø10,0)	Mimatic	1
	1	základní pohánění držák	00048156	Mimatic	1
R1-T9	3	fréza	553140Z3.0-SIRON-A / speciální délka 73 + svařovací hřídel	SECO	1
	2	držák nástroje MI40	00018705-M (Ø14,0)	Mimatic	1
	1	základní pohánění držák	00048156	Mimatic	1
R1-T8	3	břitová destička	N123E2-0200-0004-GF/1125 alternativní nástroj	Sandvik Pramet	1
	2	držák nástroje	LF123E08-2525B	Sandvik	1

Označení pozice	Pozice	Typ nástroje	Označení nástroje	Dodavatel	Počet nástrojů
R1-T8	1	základní držák	1.4025/20	EWS	1
R1-T6	3	břitová destička	DNMX 150608-WF-4315	Sandvik	1
	2	držák nástroje	DDJNL2525M 15	Sandvik	1
	1	základní držák	1.4025/20	EWS	1
R1-T5	3	břitová destička	DNMG 150608-PF4315	Sandvik	1
	2	držák nástroje	DDJNL2525M 15	Sandvik	1
	1	základní držák	1.4025/20	EWS	1
R1-T4	3	břitová destička	DNMG 150608-PF4315	Sandvik	1
	2	držák nástroje	DDJNL2525M 15	Sandvik	1
	1	základní držák	1.4025/20	EWS	1
R1-T3	3	břitová destička alternativa	DNMX 150612-WMX4315 DNMG 150612-PR4315	Sandvik	1
	2	držák nástroje	DDJNL2525M 15	Sandvik	1
	1	základní držák	1.4025/20	EWS	1

Označení pozice	Pozice	Typ nástroje	Označení nástroje	Dodavatel	Počet nástrojů
R1-T2	3	břitová destička alternativa	DNMX 150612-WMX4315 DNMG 150612-PR4315	Sandvik	1
	2	držák nástroje	DDJNL2525M 15	Sandvik	1
	1	základní držák	1.4025/20	EWS	1
R1-T1	3	břitová destička alternativa	DNMX 150612-WMX4315 DNMG 150612-PR4315	Sandvik	1
	2	držák nástroje	DDJNL2525M 15	Sandvik	1
	1	základní držák	1.4025/20	EWS	1

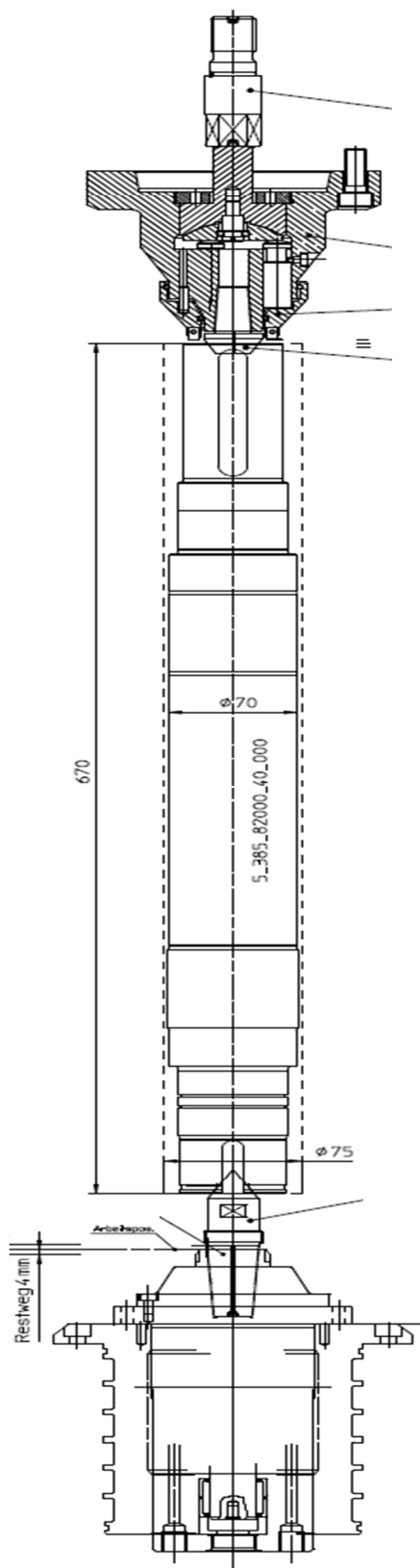
Nástroje na pozicích T1-2 jsou nástroje pro hrubování, břitové destičky na pozicích T3-4 jsou pro první zářez a prvotní obrábění. Nástroje na pozicích T5, T6 a T8 jsou břitové destičky pro dokončovací operace obrábění na hotovo. Poslední dvě pozice, T9-10, patří nástrojům pro frézování drážek na hřídeli.

Druhá revolverová hlava v obráběcím stroji má rozložení nástrojů stejné. Pokud to zakázka, velikost hřídele a typ obrábění dovolí, pracují tyto nástroje jako páry, neboli obě revolverové hlavy pracují najednou.



Obr. 27 Znáznornění držáku a nástroje na pozici T3 na revolverové hlavě v CNC stroji

Na obr. 28 je znázorněno vertikální upnutí hřídele ve stroji EMAG VTC 250. V tomto konkrétním případě jde o hřídel osově výšky 200 mm.



Obr. 28 Ukázka upnutí hřídele AH200 ve stroji EMAG VTC 250

2.3 Typový představitel

Součástky obráběné na stroji EMAG VTC 250 jsou hřídele, které slouží jako základ pro výrobu elektromotoru. Tyto hřídele jsou vyráběny z ocelí tř. 11, 12, 14, podle typu zakázky, specifikací a potřeb zákazníka.

Nejčastějším materiálem, ze kterého jsou hřídele obráběné na tomto pracovišti vyrobeny, je konstrukční ocel 11 600.

Materiálová specifikace – konstrukční ocel 11 600 [22,30]

Pro obráběcí centra EMAG VTC 250 se používají přířezy z oceli ČSN 11 600. Ocel je dovážena do firmy Siemens ve formě tyčí válcovaných za tepla. Přířezy z tyčí poskytuje pila, která je na vedlejším pracovišti.

Vlastnosti: (Tab. 4, Tab. 5)

- neušlechtilá konstrukční ocel obvyklé jakosti s vyšším obsahem uhlíku,
- tato konstrukční ocel je vhodným materiálem na strojní součásti namáhané staticky i dynamicky, u nichž se nevyžaduje svařitelnost,
- obtížná svařitelnost,
- vhodné pro součásti vystavené velkému měrnému tlaku,
- hřídele, ozubená kola, řetězová kola, osy, páky, pístnice, kolíky, čepy, podpěry, objímky, šrouby a matice, klíny, pera, ozubené hřebeny, klady, distanční kroužky, tělesa fréz, apod.

Tabulka 4 Chemické složení konstrukční oceli 11 600 v procentuální hmotnosti

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	V	W	Ti	N	jiné	
0,5	-	-	max. 0,045	max. 0,045	-	-	-	-	-	-	0,009	-	[hm. %]

Tabulka 5 Vlastnosti tyčí 11600 válcovaných za tepla v závislosti na průměru tyče

ØD	do 16	16-40	40-63	63-80	80-100	100-150	150-200	nad 200	[mm]
R _e	335	325	315	305	295	275	265	255	[MPa]
R _m	570-710					550-710	540-710		[MPa]
A ₅	16		15	14		12	11		[%]

Teploty tavení tyčových přířezů 11 600 při teplotním zpracování:

- kování 800 až 1100 °C,
- normalizační žíhání 850 až 870 °C,
- kalení do oleje 840 až 870 °C,
- kalení do vody 830 až 860 °C,
- žíhání na měkko 680 až 720 °C,
- popouštění 560 až 670 °C.

Na obr. 29 jsou znázorněny přířezy hřídelí vychystané ve velké paletě vedle obráběcího centra, přichystané pro obrábění v CNC.



Obr. 29 Přířezy materiálu 11 600 připravené k obrábění

3 VYTIPOVÁNÍ KAPACITNĚ ÚZKÝCH MÍST VE VÝROBĚ

Při obrábění hřídelových součástí na stroji EMAG VTC 250 probíhá ve stroji jak soustružení daného hřídele, tak následně frézování drážek pro pera.

Časy frézování v obráběcím centru se liší vzhledem počtu drážek potřebných na hřídeli (jedna nebo dvě). Dále je nutné počítat s možností, že na některých typech hřídelí není možné frézovat drážky zároveň dvěma revolverovými hlavami, které obráběcí centrum EMAG poskytuje. Jedná se především o hřídele menších rozměrů. Hřídele s osovou výškou 160 mm a 180 mm nemají tak velký průměr, a mohou být kratší. Poté je nutné frézovat první drážku zvlášť jednou revolverovou hlavou. Po vyfrézování první drážky se revolverová hlava přesune a vyfrézuje drážku druhou.

U hřídelí větší osově výšky (AH200) je CNC zařízení schopno frézovat obě drážky najednou. U obou případů ale výrobní frézovací časy nedosahují příliš vysokých hodnot.

Po dokončení práce CNC stroje obsluha vytáhne obrobek ze stroje (obr. 30), a musí ručně odjehlit konce hřídelí. Poté odloží výsledný hřídel do palety, nastaví znovu program CNC obráběcího centra, a zapíná obráběcí cyklus dalšího kusu.

Jako „nejslabší“ místo ve výrobě těchto hřídelí lze označit prostoje obsluhy při práci stroje, kdy pracovník musí čekat, než soustruh obrobí danou hřídel.



Obr. 30 Obrobená hřídel s vyfrézovanými drážkami pro pera

4 NÁVRH VARIANT RACIONALIZAČNÍCH OPATŘENÍ

Cílem všech racionalizačních opatření je zachovat jakost výroby, co nejvíce snížit výrobní čas se zachováním kvality práce a kvality obrobku, a v neposlední řadě snížit výrobní náklady. Pro lepší automatizaci a lepší podmínky výroby je efektivní převést co nejvíce zbylých ručních operací na operace strojní.

Opatření a změn ve výrobním procesu, které dovedou zefektivnit výrobu a zvýšit produkci, můžeme navrhnout hned několik:

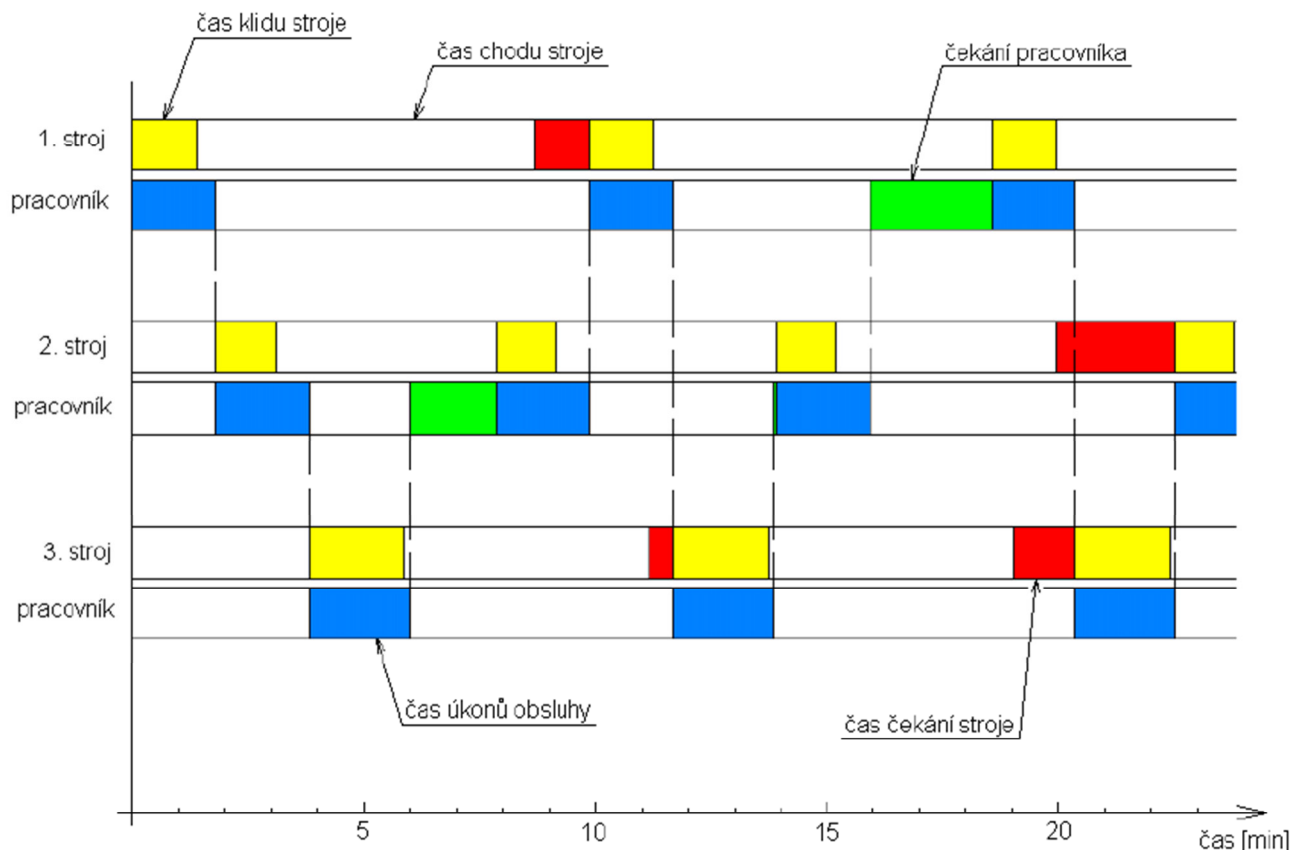
- přistavení dalšího CNC stroje – dvoustrojová obsluha,
- přistavení frézek – přesun frézování drážek z CNC centra na samostatnou frézku,
 - ruční frézka,
 - frézka s NC řízením,
- inovace manipulačních zařízení – magnetický jeřáb,
- přistavení manipulačního robota mezi dvě CNC obráběcí centra,
- převedení nutnosti ručního odjehlení na strojní.

4.1 Přistavení dalšího CNC stroje – dvoustrojová obsluha

První možností jak zamezit prostojům pracovníka u stroje je přistavení dalšího CNC zařízení (popř. změna pracoviště dvou strojů EMAG na dvoustrojovou obsluhu). Z jednoduchého pracoviště by vzniklo pracoviště dvoustrojové obsluhy, pracovník by tedy obsluhoval dvě obráběcí centra. Po nastavení prvního CNC zařízení, a jeho spuštění, by pracovník přešel ke stroji druhému, kde by nastavil CNC stroj pro další kus a zahájil jeho obrábění.

Po ukončení programu v obráběcím centru by obsluha stroje obrobenou hřídel vytáhla na pracovní stůl. Znovu obnoví program v soustruhu a nechá obrábět další hřídel. Mezitím na pracovním stole, který je situován mezi stroji, pracovník odjehlí konce hřídelí a ukládá hřídel do palety. Poté se přesunuje k druhému obráběcímu centru a proces se opakuje.

Tento způsob racionalizace pracoviště ukládá obsluze strojů mnohem více práce, ale naopak zvyšuje výrobní takt. Dalším pozitivem je potřeba pouze jednoho pracovníka, nikoli dvou na dvě obráběcí centra. Na druhou stranu má pracovník mnohem méně času na přenastavení CNC strojů. Pokud se zakázky na těchto dvou CNC strojích liší (obvykle se zakázky liší), může se stát, že pracovník nebude takové kvantum práce zvládat. Grafické znázornění principu vícestrojové obsluhy na obr. 31.



Obr. 31 Grafické znázornění principu vícestrojové obsluhy [20]

4.2 Přistavení samostatné frézky

Druhým způsobem, jak racionalizovat a zlepšit proces výroby na obráběcím pracovišti, je odstranění frézovacích operací z obráběcího programu v CNC centru a jejich přesun na samostatnou frézku vedle obráběcího centra. Toto řešení spoléhá na určité počáteční investice ve smyslu přistavení samostatné frézky vedle CNC zařízení. V tomto případě se jedná buď o přistavení frézky, již vlastněné závodem Siemens, z jiné výrobní haly, nebo nákup frézky nové.

Podstatou této varianty je, že CNC zařízení se zaměří pouze na soustružení daného hřídele. Po ukončení obráběcího programu v CNC stroji obsluha obrobek vytáhne ven ze stroje, a spustí program pro další kus. Při práci CNC zařízení na dalším hřídeli obsluha stroje přemístí již obrobek na vedlejší frézku, kde se budou frézovat drážky potřebné na hřídeli. Dále můžeme řešit, jestli bude frézka ruční nebo s automatickým řízením. Ale ve stavu dnešního trhu můžeme předpokládat, že se bude jednat o frézku s automatickým řízením.

Frézování na samostatné frézce sice potrvá delší výrobní čas, ale když toto frézování bude probíhat zároveň při práci CNC stroje, celkový takt na výrobu jednoho kusu se sníží.

Obsluha CNC zařízení bude tedy zaměřena na práci na dvou strojích, na obráběcím centru a vedlejší frézce. Z výrobního místa se tedy stane pracoviště dvoustrojové obsluhy.

4.3 Inovace manipulačních zařízení

Další nezbytnou součástí většího obráběcího pracoviště je manipulační technika. Při použití palet jako přepravního prostředku je téměř jisté, že bude firma potřebovat určitou manipulační techniku. V dnešní době může firma využít spoustu manipulačních prostředků, které trh nabízí.

Pracoviště OB0007, konkrétně pracoviště obráběcích center EMAG obsahuje automatický podavač hřídelí do CNC centra, který zároveň slouží jako zásobovací stanice pro další kusy hřídelů. Do tohoto podavače se vlezou maximálně tři kusy hřídelí největší osově výšky motoru AH200. Do tohoto podavače musí přířezy hřídelí vložit obsluha stroje.

Další manipulační technikou jsou ruční paletové nízkozdvižné vozíky, které obsluha využívá pro požadované a pohodlné přistavení palet k obráběcímu centru, převážně pro překonávání krátkých vzdáleností.

Manipulace s těžšími přířezy, popř. s těžšími už obrobenými hřídeli je usnadněna pomocí otočného sloupového jeřábu s elektromagnetem umístěného vedle obráběcího centra. Tento jeřábek slouží k manipulaci hřídelí mezi CNC centrem a pracovním stolem, kde probíhá odjehlení hřídelí.

Pro přívoz přířezů k pracovišti, a odvoz již obrobených hřídelí slouží vysoko zdvižný vozík s řidičem a možností výsunu vidlice. Tento vozík je nutný především k odvozu hotových hřídelí do další výrobní haly, kde pokračuje výrobní proces elektromotoru.

Toto pracoviště je velmi dobře ošetřeno manipulační technikou, jediné manipulační zařízení, které by bylo možné inovovat je magnetický jeřáb. Lepší umístění, a celkově výkonnější magnetický jeřáb, s lepší manipulací magnetického konce dovnitř obráběcího centra, popř. magnet s vyšší nosností, by stál za úvahu v rámci racionalizace manipulačních zařízení tohoto pracoviště. Stávající manipulační jeřáb na pracovišti OB0007 je znázorněn na obr. 32.



Obr. 32 Magnetický jeřáb na pracovišti CNC strojů

4.4 Přistavení manipulačního robota

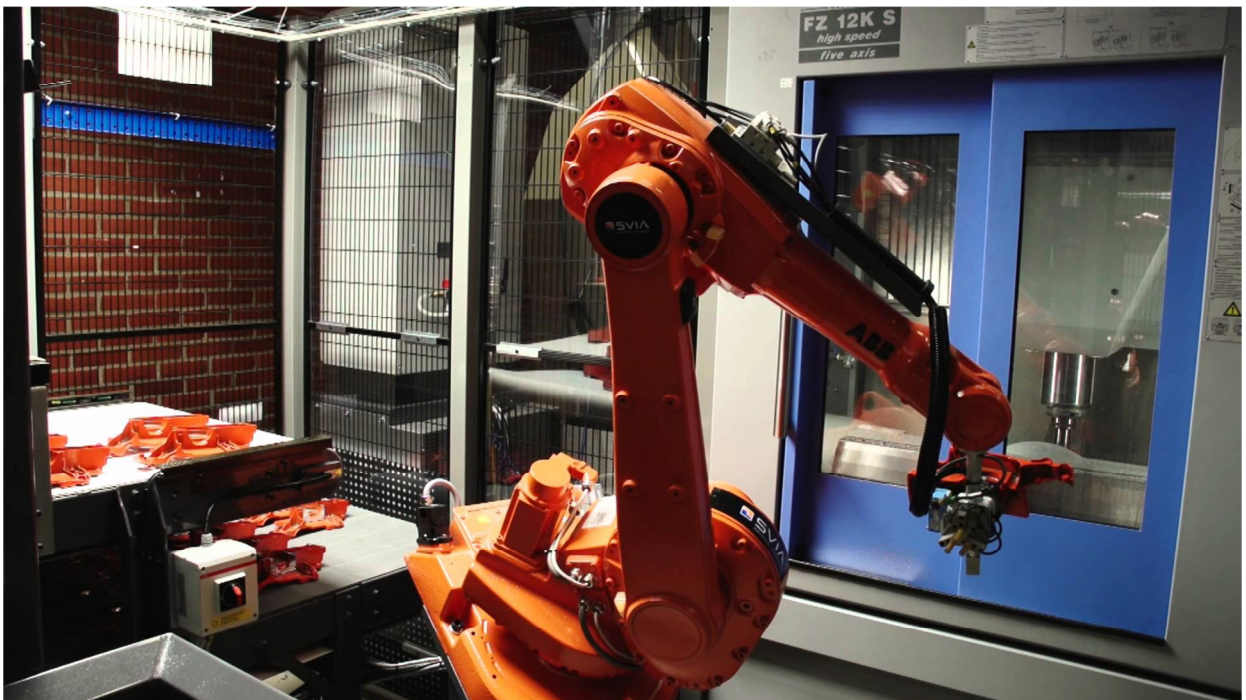
Manipulační roboty jsou technikou, která se v dnešní době neustále vyvíjí, a která zasahuje do téměř všech odvětví průmyslu. Několikanásobně zvyšují efektivitu výroby. V dnešní době je manipulace s výrobky a zbožím, nejrozsáhlejší aplikací robotů v průmyslové výrobě.

Robotické manipulátory jsou obvykle součástí stroje. Využívají se pro přesun výrobků, jejich odebrání a zakládání na jiné místo. Občas se roboty používají i na výměnu nástrojů v obráběcích centrech. [31]

Do této manipulace výrobků patří i jejich paletizace, při které dochází k přesunu těchto výrobků a jejich zakládání do palet. [31]

V současné době je robotizace pracovišť velkým trendem ve strojírenském průmyslu. Podtrhuje snahu o co největší zrychlení výroby při stejné, ne-li lepší kvalitě výroby, se současným požadavkem na nízké výrobní náklady. Příklad pracovního robota u obráběcího stroje na obr. 33. [31]

V této konkrétní variantě pracoviště, kde jsou umístěny dvě obráběcí centra EMAG VTC 250, určitě stojí za úvahu inovace pracoviště pomocí manipulačního robota. Tento robot by byl ustaven mezi tyto obráběcí centra, a v podstatě by nahradil lidskou obsluhu u těchto strojů.



Obr. 33 Ukázka práce manipulačního robota u CNC stroje [32]

5 ROZPRACOVÁNÍ VYBRANÉ VARIANTY

Vybranou variantou pro racionalizaci obráběcího pracoviště je spojení dvou zmíněných možností vylepšení pracovního procesu. Jde o **přístavení samostatné frézky vedle CNC zařízení a zároveň zavedení dvoustrojové obsluhy**. Frézování drážek na hřídelích tedy bude probíhat mimo obráběcí centrum. Obsluha CNC zařízení bude mít na starost i vedlejší frézku, bude tedy obsluhovat dva stroje.

Firma Siemens je schopna poskytnout již vlastněnou frézku EMCOMILL E900. Rozpracování této varianty poskytuje pro srovnání i výběr dalších obdobných frézek. Výpočty frézovacích časů jsou odvozeny ze základních parametrů frézky EMCOMILL E900 a doporučených optimálních vlastností frézovacího nástroje. [33]

Frézka EMCOMILL E900 (obr. 32)

EMCOMILL E900 je navržen jako velmi kompaktní univerzální tříosý stroj pro všeobecné obrábění. Lůžko, stojan a všechny tři vozíky jsou masivní litinové konstrukce a tvoří základ pro robustní konstrukci stroje. Vynikající vlastnosti odpružení odlitku vedou k vysoce kvalitním povrchovým vlastnostem s velkými řeznými hodnotami. Válečkové vedení s vysokou mírou opory a tuhosti umožňují vozíky pohybovat plynule a přesně. Výměna nástrojů je již standardně navržena jako velmi rychlý měnič dvou ramen. Doby výměny 1,6 sekundy umožňují rychlé přepnutí na jiné nástroje, což zajistí produktivní, časově úspornou a nákladově efektivní výrobu. [37]

Základní technické parametry stroje [33]

Pracovní plocha:

• délky drah E900	osa X 900	mm,
	osa Y 500	mm,
	osa Z 500	mm,
• min. vzdálenost nosníku vřetena od stolu	100	mm,
• max. vzdálenost nosníku vřetena od stolu	600	mm.

Stůl:

• rozměry stolu	1000 x 520	mm,
• T-slots: počet, šířka, rozteč	5 x 18 x 100	mm,
• maximální zatížení stolu E900	800	kg,
• vzdálenost stolu od podlahy	786	mm.

Vřeteno:

• rychlostní rozsah	50 - 12000	min ⁻¹ ,
• vřetenový motor - výkon	13	kW,

- | | | |
|----------------------------------|----------------|-----|
| • točivý moment vřetena | 83 | Nm, |
| • kužel nástroje ISO 40 DIN69871 | možnost BT 40. | |

Osy:

- | | | |
|------------------------------|------|--------------------|
| • Pojezdová rychlost X, Y, Z | 24 | m/min, |
| • Zrychlení os X, Y, Z | 2 | m/s ² , |
| • Napájecí síla X, Y, Z | 5000 | N. |

Nástroj:

- | | | |
|-------------------------------|------------------|-----|
| • počet nástrojových stanic | 20 (možnost 30), | |
| • maximální průměr nástroje | 80 (možnost 125) | mm, |
| • maximální délka nástroje | 250 | mm, |
| • maximální hmotnost nástroje | 8 | kg, |
| • doba změny nástroje | 1,6 | s. |

Obecné údaje stroje:

- | | | |
|------------------------------|--------------------|-----|
| • připojená zátěž | 20 | kVA |
| • rozměry L x D x H | 2570 x 2445 x 2920 | mm |
| • Hmotnost | 4600 | kg |
| • Požadovaný stlačený vzduch | 6 | bar |

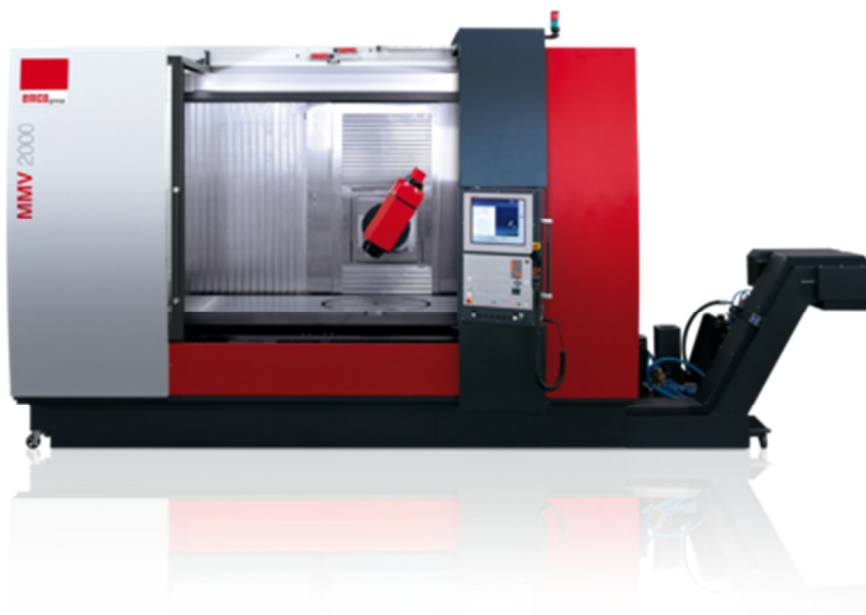


Obr. 32 Frézka EMCOMILL E900 [33]

Alternativy frézovacího stroje:

EMCO - MMV 2000: (obr. 33) [34]

• posuv v ose X/Y/Z	2000/800/750	mm,
• vzdálenost nosníku od vřetena	max. 750	mm,
• počet os (základní stroj)	3 (4, 5 volitelně),	
• rychlost pohybu v X/Y/Z	50/50/50	m.min ⁻¹ ,
• upínací plocha	2400 x 750	mm,
• max. zatížení stolu	2200	kg,
• max. průměr nástroje	75 (125)	mm,
• max. rychlost vřetena	15 000	min ⁻¹ ,
• max. krouticí moment	125	Nm,
• rozměry stroje L x D x H	6144 x 4267 x 3160	mm,
• hmotnost stroje	22000	kg.



Obr. 33 Frézovací centrum MMV 2000 [34]

EMCOMILL 1200 (obr. 34) [35]

• posuv v ose X/Y/Z	1200/600/500	mm,
• vzdálenost nosníku od vřetena	max. 600	mm,
• počet os (základní stroj)	3 (4 volitelně),	
• rychlost pohybu v X/Y/Z	30	m.min ⁻¹ ,
• pracovní posuv X/Y/Z	15	m.min ⁻¹ ,
• upínací plocha	1300 x 630	mm,
• max. zatížení stolu	1500	kg,

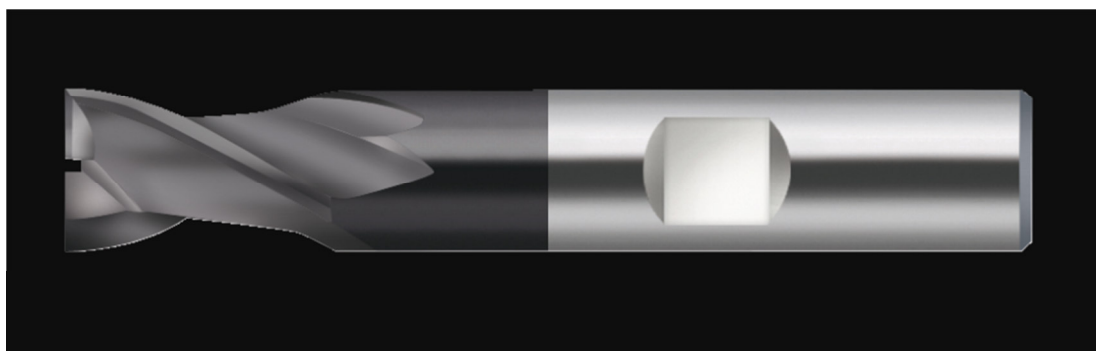
• max. průměr nástroje	80	mm,
• max. rychlost vřetena	10 000	min ⁻¹ ,
• max. krouticí moment	100	Nm,
• rozměry stroje L x D x H	3370 x 2950 x 3000	mm,
• hmotnost stroje	12000	kg.



Obr. 34 Frézovací stroj EMCOMILL 1200 [35]

Frézovací nástroj – fréza

Nástroj, který bude používán na samostatné frézce EMCOMILL 900 bude fréza od firmy Walter s vnitřním chlazením (označení IH11.7-2D12). Tato drážkovací fréza je znázorněna na obr. 35.



Obr. 35 Drážkovací fréza ze slinutého karbidu [36]

Základní specifikace frézy: (Tab. 6)**Tabulka 6** Specifikace frézovacího nástroje použité v CNC stroji EMAG

Nástroj	v_c [m.min ⁻¹]	f_z [mm]	D_c [mm]	z [-]
Fréza IH11.7-2D12	187,5	0,1	11,7	2

Po zjištění a zavedení parametrů nástroje z CNC centra do výpočtu, byly stanoveny otáčky nástroje, posuvová rychlost a následně i strojní čas pro výrobu drážek. Tyto hodnoty jsou stanoveny ze stejných specifikací a nastavení nástroje jako v CNC obráběcím centru.

$$n = \frac{v_c \cdot 10^3}{\pi \cdot D_c} \quad (1.1)$$

$$n = 5101,12 \text{ min}^{-1}$$

$$v_f = f_z \cdot z \cdot n \quad (1.2)$$

$$v_f = 1020,22 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$$

Dále je nutno spočítat celkovou dráhu, kterou nástroj projede při frézování drážek na hřídeli. Jako první představitel byl vybrán jeden z největších hřídelů s osovou výškou 200 mm. Hřídel s materiálovým číslem **53858200-4-0**. Tato hřídel obsahuje dvě drážky: (Tab. 7)

Tabulka 7 Specifikace drážek pro pera 200-4-0

Označení drážky pro pero	Délka drážky [mm]
16 P9 x6 ^{+0,2}	100
12 P9 x5 ^{+0,2}	43

Celková dráha, kterou nástroj projede při frézování drážek, byla vyměřena podle pohybu nástroje ve stroji na 1692 mm.

$$L_{13} = 1692 \text{ mm}$$

S naměřenou celkovou dráhou nástroje a vypočtenou rychlostí posuvu, byl spočten strojní čas pro frézování drážek na samostatné frézce, mimo obráběcí centrum EMAG.

$$t_{AS3} = \frac{L_{13}}{v_f} \quad (1.3)$$

$$t_{AS3} = 1,658 \text{ min} = 99,51 \text{ s}$$

Druhým představitelem použitým k výpočtu frézovacího času je hřídel s osovou výškou 160 mm s označením **53858160-4-0**. Tato hřídel obsahuje také dvě drážky: (Tab. 8)

Tabulka 8 Specifikace drážek pro pera 160-4-0

Označení drážky pro pero	Délka drážky [mm]
12 N9 x5 ^{+0,2}	90
14 N9 x5,5 ^{+0,2}	23

Celková dráha frézovacího nástroje byla vyměřena podle jeho pohybu při frézování těchto drážek na 1186 mm. Dráha frézovacího nástroje L_2 obsahuje i nájezdy nástroje. Porovnání frézovacích časů v tab. 9.

$$L_{11} = 1692 \text{ mm}$$

$$t_{AS2} = \frac{L_{11}}{v_f}$$

$$t_{AS1} = 1,163 \text{ min} = 69,76 \text{ s}$$

Tabulka 9 Porovnání časů frézování drážek v CNC a na frézce

Materiálové číslo	Počet frézovaných drážek	Frézovací čas na kus v CNC t_F [s]	Celkový čas na kus v CNC t_{CNC} [s]	Frézovací čas na kus na frézce [s]
52178160-4-0	2	60	297	69,76
52178180-2-1	2	90	417,6	90,79
52178200-4-0	2	90	423,6	99,51
52178200-4-1	2	90	495	98,72

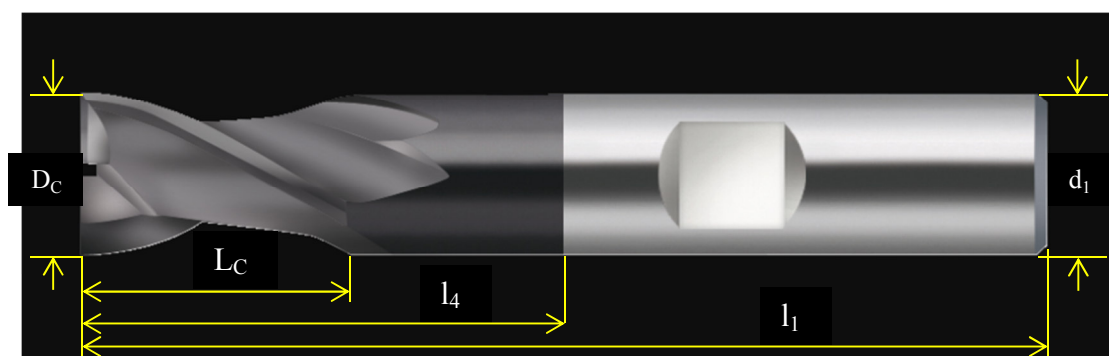
V celkovém čase obrábění jsou zahrnuty i nájezdy nástrojů, upínání a další vedlejší časy stroje.

Po teoretickém nastavení samostatných frézek byly pro určené představitele hřídelí, obráběných na CNC centru EMAG, stanoveny frézovací časy na kus na frézce E900, které jsou velice podobné jako časy frézování v CNC centru, u pár představitelů jsou o něco vyšší.

Vyšší frézovací časy na frézce E900 racionalizaci pracoviště nevadí, protože obráběcí centrum a frézka budou pracovat současně.

Pracovník vloží přířez hřídele do obráběcího centra, nastaví příslušný program obrábění, a stroj spustí. Po obrobení hřídele obsluha stroje tento kus vytáhne a vloží další neobrobenou hřídel. Při práci CNC stroje se pracovník přesune již s obrobenou hřídelí na frézku E900, kde hřídel upne, nastaví parametry frézky a nechá vyfrézovat drážky na hřídeli. Po vyfrézování požadovaných drážek pracovník hotový kus vytáhne z frézky, odjehlí ostré hrany u drážek pro pero, a ukládá jej do připravené palety na hotové výrobky. Poté se znovu přesune k obráběcímu centru a proces se opakuje.

Po poptání optimálních specifikací frézovacího nástroje od firmy Walter, byly stanoveny nové základní parametry frézy, které by měly mít za příčinu snížení frézovacích časů na vedlejší frézce E900. Frézování těchto drážek probíhá zároveň s prací obráběcího centra, kde je čas obrábění mnohem vyšší. Proto není tato změna specifikací nutná, ale při další racionalizaci výrobního procesu by použití těchto optimálních specifikací stálo za zvážení. Základní parametry frézy IH11.7-2D12 jsou znázorněny na obr. 36.



Obr. 36 Základní parametry použitého frézovacího nástroje podle katalogu [36]

Základní parametry:

- D_C = 11,7 mm
- L_C = 22 mm
- l_1 = 83 mm
- l_4 = 38 mm
- d_1 = 11,7 mm
- z = 2

Podle vybraných specifikací nástroje je podle katalogu firmy Walter optimální řezná rychlost pro zušlechtěnou nelegovanou ocel $202 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$.

$$v_{Ca} = 202 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$$

S hodnotami z katalogu od firmy Walter byly vypočteny otáčky, posuvová rychlost a frézovací čas pro představitele hřídelí pro optimální specifikace frézovacího nástroje.

$$n_a = \frac{v_c \cdot 10^3}{\pi \cdot D_C}$$

$$n_a = 5495,61 \text{ min}^{-1}$$

$$v_{fa} = f_z \cdot z \cdot n_a$$

$$v_{fa} = 1099,12 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$$

Pro názornost uveden výpočet frézovacího času pro hřídel 52178200-4-0. Porovnání frézovacích časů za jiných specifikací nástroje v tab. 10.

$$L_{13} = 1692 \text{ mm}$$

$$t_{ASa1} = \frac{L_{13}}{v_{fa}}$$

$$t_{AS3a} = 1,539 \text{ min} = 92,36 \text{ s}$$

Tabulka 10 Porovnání frézovacích časů za optimálních specifikací nástroje

Materiálové číslo	Počet frézovaných drážek	Frézovací čas na kus – optimální specifikace [s]	Frézovací čas na kus – CNC specifikace [s]
52178160-4-0	2	64,75	69,76
52178180-2-1	2	84,27	90,79
52178200-4-0	2	92,36	99,51
52178200-4-1	2	91,63	98,72

Frézovací časy při vyšší řezné a posuvové rychlosti jsou pochopitelně nižší, ale v rámci frézování drážek, které probíhá zároveň při soustružení hřídelí v CNC, je rozdíl zanedbatelný, a obsluha stroje bez problému stihne vyfrézovat drážky i s časy vyššími, tedy časy vypočtenými se stejným nastavením frézy.

Po výpočtu časů frézování drážek byl stanoven počet kusů jednotlivých představitelů vyrobených za jednu směnu. Tento počet se vybranou racionalizací výroby zanedbatelně zvýší. Klasická pracovní směna je osmihodinová. Z těchto osmi hodin musíme odečíst půl hodiny na povinné přestávky pracovníka a další půl hodinu můžeme odečíst kvůli výměnám nástrojů, nastavování CNC stroje, popř. prostojů obsluhy. Bylo tedy počítáno s celkovým výrobním časem sedm hodin za směnu.

$$t_s = 7 \text{ hod} = 25\,200 \text{ s}$$

Výpočet pro hřídel 52178160-4-0

Původní počet kusů obrobených za směnu v CNC stroji.

$$Q_{1P} = \frac{t_s}{t_{CNC1}} = \frac{25200}{297} = 84,85 \text{ ks} = 84 \text{ ks} \quad (1.4)$$

Počet obrobených kusů s frézováním drážek na frézce E900. Z celkového počtu kusů byl odečten jeden, protože frézování drážek na první osoustružené hřídeli probíhá až při práci CNC stroje na soustružení hřídele druhé (neboli na poslední osoustružené hřídeli za směnu se teoreticky nestihnou vyfrézovat drážky).

$$\begin{aligned} Q_{1C} &= \frac{t_s}{t_{CNC1} - t_{F1}} = \frac{25200}{297 - 60} = 106,33 \text{ ks} \\ &= 106 \text{ ks} - 1 \text{ ks} = 105 \text{ ks} \end{aligned} \quad (1.5)$$

Výpočet pro hřídel 52178200-4-0

Původní počet kusů vyrobených na CNC stroji.

$$Q_{3P} = \frac{t_s}{t_{CNC3}} = \frac{25200}{423,6} = 59,49 \text{ ks} = 59 \text{ ks}$$

Počet obrobených kusů se samostatnou frézou E900.

$$Q_{1C} = \frac{t_s}{t_{CNC3} - t_{F3}} = \frac{25200}{423,6 - 90} = 75,54 \text{ ks} = 75 \text{ ks} - 1 \text{ ks} = 74 \text{ ks}$$

Vyhodnocení obrobených kusů za směnu před a po racionalizaci výroby je znázorněno v tab. 11.

Tabulka 11 Počet vyrobených kusů za směnu po racionalizaci výroby

Materiálové číslo	Počet kusů na CNC [ks/směna]	Počet kusů na CNC + frézka [ks/směna]	Procentuální navýšení kusové výroby [%/směna]
52178160-4-0	84	105	25
52178180-2-1	60	75	25
52178200-4-0	59	74	25,42
52178200-4-1	50	61	22

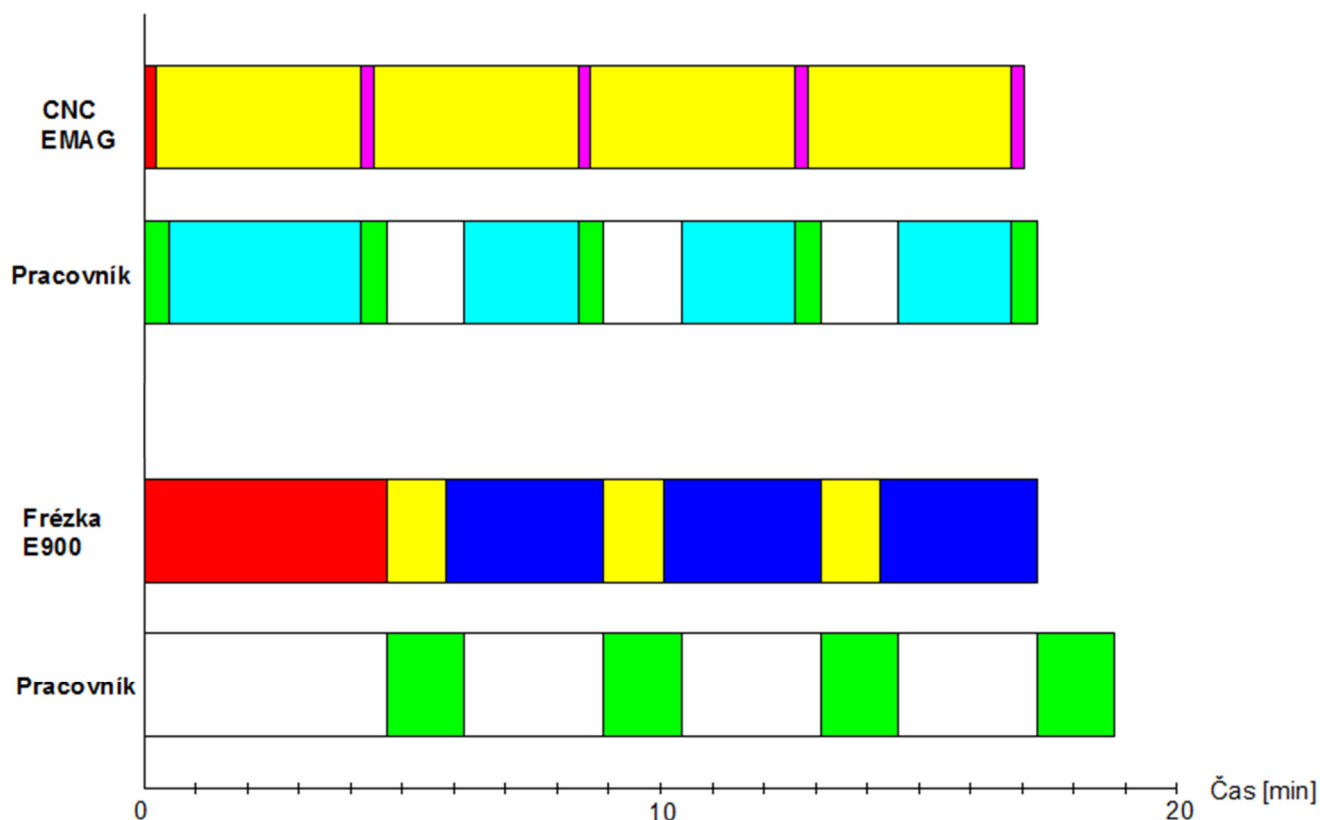
Po stanovení počtu kusů po racionalizaci výroby, tedy přístavení samostatné frézky E900, je patrný nárůst produktivity. Tento nárůst kusové výroby je průměrně 25% za směnu.

V tabulce 12 je znázorněný výsledný technologický postup při výrobě hřídelí po přístavení samostatné frézky E900. Čas frézování a odjehlení se neuvádí, neboť je zahrnut ve výrobním času CNC zařízení.

Tabulka 12 Výsledný technologický postup

Technologický postup		Materiál: 11 600		Polotovar: Ø55 x 550		
Datum: 23. 3. 2018		Název součásti: Hřídel				Číslo listu: 1
Operace	Pracoviště	Řídicí klíč	Popis operace	Základní množství [ks]	Čas seřízení [min/100ks]	Čas zpracování [min/100ks]
0010	OB0007	IN19	Soustružit dle programu 52178200-4-0	100	30	696,500
0020	OB0007	IN02	Frézovat drážky dle programu 52178200-4-0	100	30	0,001
0030	OB0007		Odjehlít hrany			0,001

Přístavení samostatné frézky vedlo k výrobě více kusů hřídelí za směnu, tedy k celkovému zrychlení výrobního taktu. Pracoviště obráběcího centra se stalo pracovištěm dvoustrojové obsluhy, kde pracovník obsluhuje jak CNC stroj EMAG VTC 250, tak i vedlejší frézku EMCOMILL E900. Výsledné znázornění principu dvoustrojové obsluhy je uvedeno na obr. 37.



Obr. 37 Znázornění výsledné dvoustrojové obsluhy v měřítku

Legenda:

- | | |
|--|--|
| - čas klidu stroje | - čas čekání stroje |
| - čas chodu stroje | - čas úkonů pracovníka |
| - čas interference stroje | - čas čekání pracovníka |

6 TECHNICKO EKONOMICKÉ HODNOCENÍ

Po sestavení nového pracovního postupu, i s racionalizačními prvky, novým technologickým postupem a novými časy obrábění hřídelů, je nutno provést technicko - ekonomické zhodnocení tohoto racionalizačního opatření pro zrychlení taktu výroby hřídelových součástí. Výpočty jsou založeny na základě předchozích výsledků a informací poskytnutých firmou Siemens. Výrobní ceny vybraných představitelů hřídelů jsou vypočteny v tab. 13, následné porovnání stavu současného a stavu navrhovaného, společně s finanční úsporou na kus je promítnuto v tab. 14.

Příklad výpočtů aktuální ceny práce, a ceny po racionalizaci:

$$N_{ak} = t_{nor} \cdot N_p \quad (1.6)$$

$$N_{ak1} = 4,95 \cdot 5,96 = 29,502 \text{ Kč}$$

$$N_{rac} = t_{nor1} \cdot N_p \quad (1.7)$$

$$N_{rac1} = 3,95 \cdot 5,96 = 23,542 \text{ Kč}$$

Tabulka 13 Výrobní ceny vybraných hřídelů

Materiálové číslo	Současná normominutáž na kus t_{nor} [min]	Normominutáž po racionalizaci t_{nor1} [min]	Cena práce CNC stroje N_p [Kč/min]	Aktuální cena práce CNC N_{ak} [Kč/ks]	Cena práce CNC po racionalizaci N_{rac} [Kč/ks]
52178160-4-0	4,95	3,95	5,96	29,5	23,5
52178180-2-1	6,96	5,46	5,96	41,5	32,5
52178200-4-0	7,062	5,562	5,96	42,1	33,1
52178200-4-1	8,25	6,75	5,96	49,1	40,2

Tabulka 14 Úspora na kus po racionalizaci

Materiálové číslo	Úspora normominut na kus [min]	Finanční úspora na kus [Kč]
52178160-4-0	1,00	6
52178180-2-1	1,50	9
52178200-4-0	1,50	9
52178200-4-1	1,50	9

Současnou prací CNC zařízení a frézky E900 se uspoří normominuty práce v CNC zařízení. Tato úspora práce stroje je v přepočtu až 9 Kč na obrobek jedné hřídele.

Výrobní ceny hřídelí za rok

Pro znázornění vhodné volby racionalizačních opatření jsou v tab. 15, 16 uvedeny roční výrobní ceny vybraných čtyř představitelů vyráběných na tomto pracovišti před a po racionalizaci. Tab. 17 uvádí jak celkovou roční úsporu normominut práce CNC stroje, tak i celkovou finanční úsporu v práci CNC zařízení.

Příklad výpočtu normominut za rok a celkové ceny výroby:

$$t_{norC} = t_{nor} \cdot Q_r \quad (1.8)$$

$$t_{norC1} = 4,95 \cdot 40\,128 = 198\,633,6 \text{ min}$$

$$N_{akC} = t_{norC} \cdot N_P \quad (1.9)$$

$$N_{akC1} = 198\,633,6 \cdot 5,96 = 1\,183\,856,3 \text{ Kč}$$

Výsledná cena v tabulce je ještě nepatrně upravena z důvodu interních výrobních koeficientů. Roční výrobní ceny po racionalizaci jsou vypočteny podle stejných vzorců. Cena výroby se sníží z důvodu snížení normominutáže výroby.

Tabulka 15 Současné roční výrobní ceny vybraných hřídelí

Materiálové číslo	Současná normominutáž na kus v CNC t_{nor} [min]	Přibližný počet kusů za rok Q_r [ks]	Cena práce CNC stroje N_P [Kč/min]	Normominut celkem za rok t_{norC} [min]	Výrobní cena celkem N_{akC} [Kč/rok]
52178160-4-0	4,95	40 128	5,96	198 633,6	1 183 194,1
52178180-2-1	6,96	11 485	5,96	79 935,6	476 149,7
52178200-4-0	7,062	7 001	5,96	49 441,1	294 503,9
52178200-4-1	8,25	7 817	5,96	64 490,3	384 362,2

Tabulka 16 Roční výrobní ceny po racionalizaci

Materiálové číslo	Normominutáž na kus v CNC po racionalizaci t_{nor1} [min]	Přibližný počet kusů za rok Q_r [ks]	Cena práce CNC stroje N_p [Kč/min]	Normominut celkem za rok t_{norC1} [min]	Výrobní cena celkem N_{racC} [Kč/rok]
52178160-4-0	3,95	40 128	5,96	158 505,6	944 165,0
52178180-2-1	5,46	11 485	5,96	62 708,1	373 531,2
52178200-4-0	5,562	7 001	5,96	38 939,6	232 080,0
52178200-4-1	6,75	7 817	5,96	52 764,8	314 478,2

Příklad výpočtu roční úspory:

$$t_{ús} = \Sigma(t_{norC}) - \Sigma(t_{norC1}) \quad (1.10)$$

$$t_{ús} = 392\,500,6 - 312\,918,1 = 79\,582,5 \text{ min}$$

$$N_{ús} = \Sigma(N_{akC}) - \Sigma(N_{racC}) \quad (1.11)$$

$$N_{ús} = 2\,338\,209,9 - 1\,864\,254,4 = 473\,955,5 \text{ Kč}$$

Tabulka 17 Roční úspora

Materiálové číslo	Úspora normominut ročně $t_{ús}$ [min]	Finanční úspora $N_{ús}$ [Kč/rok]
52178160-4-0	40 128,0	239 029,1
52178180-2-1	17 227,5	102 618,5
52178200-4-0	10 501,5	62 423,9
52178200-4-1	11 725,5	69 884,2
Celkem	79 582,5 min = 1 326,4 hod	473 955,5 Kč

Po zavedení racionalizačních opatření a přístavení samostatné frézky dostáváme roční úsporu práce CNC zařízení EMAG **473 955,5 Kč**. Tato úspora je spočtena pro výrobu stejného počtu kusů vybraných představitelů hřídelí, který by se vyrobil za stávajícího stavu obráběcího pracoviště.

Nové rozložení pracoviště i se samostatnou frézou EMCOMILL E900 ale poskytuje možnost výroby většího počtu kusů, tedy celkově je pracoviště schopno být více produktivní. Tab. 18 uvádí, o kolik více hřídelí je schopno pracoviště po racionalizaci vyrobit za směnu, popř. za jeden rok. Na tomto pracovišti je dvousměnný provoz, pokud tedy zakázky nevyžadují provoz nepřetržitý. Počet pracovních dnů v roce 2018 je 250.

Možné navýšení roční výroby - 52178160-4-0:

$$Q_{mož1} = 21 \cdot 2 \cdot 250 = 10\,500 \text{ ks} \quad (1.12)$$

Tabulka 18 Možné navýšení počtu vyráběných hřidelí

Materiálové číslo	Možné navýšení počtu vyrobených kusů za směnu [ks]	Možné navýšení počtu kusů vyrobených ročně $Q_{mož}$ [ks]
52178160-4-0	21	10 500
52178180-2-1	15	7 500
52178200-4-0	15	7 500
52178200-4-1	11	5 500

Důležitým výstupem je možnost zvýšení výroby o 10 – 20 kusů daných představitelů za směnu. Kratší výrobní takt na kus poskytuje pracovišti možnost celkově větší produktivity a rychlejšího plnění zakázek, což každý zákazník určitě ocení. Možné navýšení vyrobených kusů určité hřídele za rok je čistě teoretické, neboť počítá s nepřetržitou výrobou dané hřídele ve dvousměnném provozu po celý rok.

7 DISKUZE VÝSLEDKŮ

Pro vybrané obráběcí pracoviště s CNC obráběcím centrem EMAG byly navrženy čtyři varianty racionalizace. Vybranou a rozpracovanou variantou je převod frézování drážek z CNC obráběcího centra na samostatnou frézku E900.

7.1 Zhodnocení vybraného racionalizačního návrhu

Při případném zavedení vybraného racionalizačního opatření, tedy přistavení samostatné frézky E900 k obráběcímu centru, byla zjištěna velká úspora normominut na výrobu jednoho kusu hřídele, což vede k rychlejšímu taktu obráběcího centra.

Zavedení této racionalizace pracoviště obnáší pouze minimální počáteční investice, protože daný frézovací stroj už firma Siemens Mohelnice vlastní, jde tedy pouze o jeho přepravu z jedné haly do druhé a jeho ustavení na příslušném pracovišti.

Po propočtu změny výrobního procesu pro vybrané čtyři představitele obráběných hřídelí byla zjištěna roční úspora 473 955,5 Kč na práci obráběcího centra EMAG VTC 250 při stejném počtu vyráběných kusů ročně, jako při současné výrobě. Je nutné si uvědomit, že jde pouze o čtyři typy hřídelí, výsledná úspora tedy bude ještě mnohem vyšší.

Se zkrácením výrobních časů jednotlivých hřídelí je spjata celková produktivita pracoviště. Obráběcí centra jsou po této racionalizaci schopny obrobit o 10 – 20 kusů více za jednu směnu. Tímto zrychlením výrobního taktu se otevírají možnosti výroby více kusů, zvýšení kapacit výroby, popř. přijímání většího množství zakázek. Další možností využití je kooperace na zakázkách s jinými firmami.

7.2 Další možnosti vylepšení výrobního procesu

Pokud bude tato varianta zlepšení výrobního procesu realizována, stojí za zvážení i racionalizace v pracovním úkonu obsluhy, odjehlení hran po vyfrézování drážek pro pera.

Při třískovém opracování hřídelí dochází na hraně styku mezi obrobenou a neobrobenou plochou ke vzniku otřepů, resp. jehel. Jedná se o neplánované a nežádoucí nahromadění materiálu, které vzniká v důsledku procesů vytvářejících odebranou třísku, a které přesahuje rozměry udávané výkresem.

Prozatím je tato operace prováděna ručně obsluhou po vyfrézování drážek, ale pořád tato operace spadá do taktu obráběcího centra EMAG.

Nevýhody ručního odjehlování: [38,40]

- proměnlivá kvalita výsledků
- náklady na pracovní pomůcky a bezpečnost při práci
- dosažení pouze základních typů opracování
- nedovoluje zpracovat velmi malé díly

Toto ruční odjehlení by bylo možné převést na odjehlení strojní, které by se dalo realizovat na navrhované frézce EMCOMILL E900. V tomto případě by bylo nutné koupit nový frézovací nástroj. Vhodnou volbou nástroje pro tuto operaci je obrážecí fréza pro sražení hran na daných drážkách.



Obr. 38 Příklad srážecích fréz [39]

Další možností je vícesměrový systém odjehlení pomocí rotujících kartáčů. Tento způsob odjehlení, popř. sražení hran, zaručuje vysokou kvalitu na obrobené ploše, ale také potřebuje větší počáteční investice na koupi stroje. [38]

Otřepů se dá zbavit i pomocí tepelně-chemických technologií. Pracovní komora s obrobky se naplní směsí určitých plynů (většinou kyslík a vodík), která je zapálena elektrickou jiskrou. Vysoká teplota způsobí spálení, popř. odpaření nežádoucích otřepů. Na tomto pracovišti sériové výroby by byl tento způsob zbavení se otřepů neefektivní. [40]

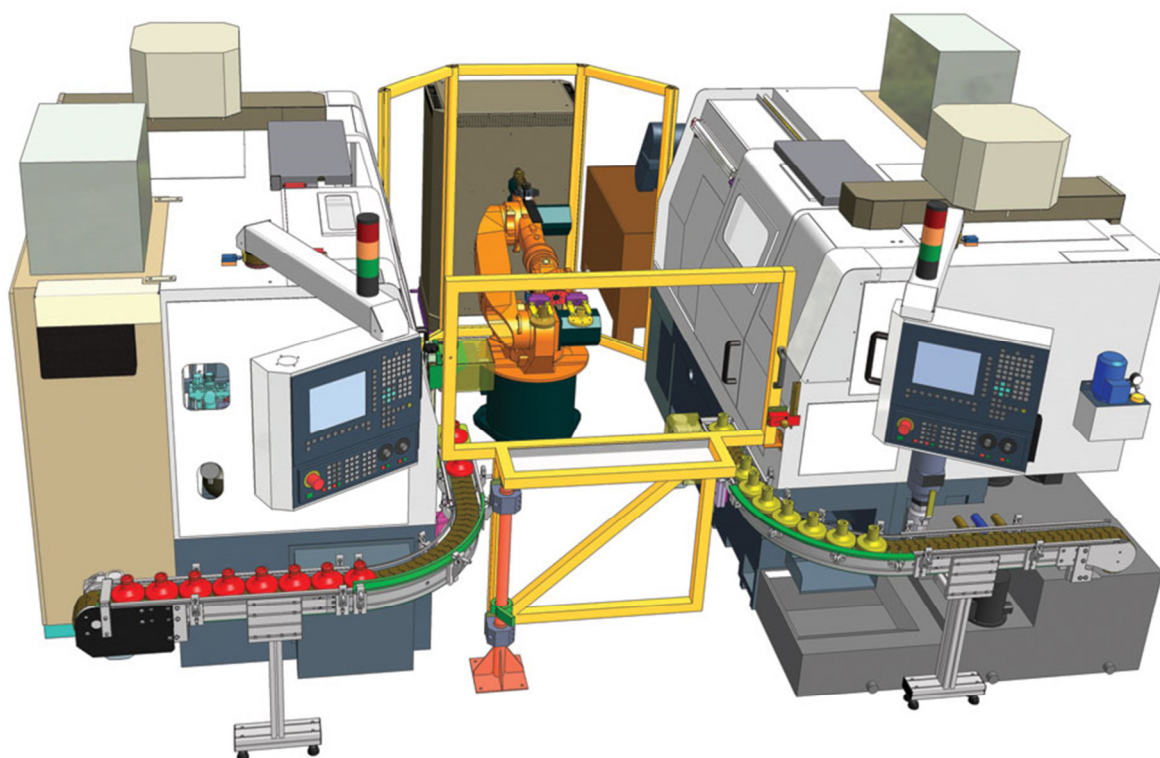
Zavedení robotizovaného pracoviště

Další možností racionalizace tohoto pracoviště je jeho plná automatizace. Tato plná automatizace ve smyslu přistavení manipulačního robota mezi CNC stroj a frézku E900. Manipulační robot by zastal veškerou práci dosavadní lidské obsluhy na tomto pracovišti. Podávání přířezů, nakládání a vykládání obráběcího centra, měření obrobených hřídelí, frézování drážek a v neposlední řadě odjehlení hran drážek pro frézování.

Tento způsob vylepšení pracoviště je v době dnešních technologií velice populární, a v rámci dnešního technologického trendu sériové výroby takřka nevyhnutelný pro firmy s vysokými ambicemi.

Tato možnost ale obnáší velké počáteční investice pro instalaci této racionalizace. Jak ustavení stroje, jeho nastavení, sestavení ochranného prostředí pro práci robota, tak i samotná pořizovací cena robota, jsou velice nákladnými položkami pro zavedení plně automatizovaného pracoviště.

Zavedení tohoto robotizovaného pracoviště je ale pro budoucnost sériové výroby této firmy velkým příslibem, a určitě stojí za zvážení



Obr. 39 Příklad plně automatizovaného pracoviště [41]

ZÁVĚR

Tato akademická práce je složena z několika částí. První část byla zaměřena na teoretické základy technologií obrábění, především zaměřena na rozbor technologie frézování. Dále jsou popsány i nynější nejnovější trendy v obráběcí výrobě.

Část druhá rozebrala aktuální obráběcí pracoviště ve společnosti Siemens Mohelnice, jeho sestavení, technologie a postup výroby. Byl zde proveden detailní rozbor používaného obráběcího centra, i materiálu používaného k obrábění.

Následně byly vytipovány a navrženy nejlepší možné racionalizační opatření pro toto výrobní pracoviště. Vybranou a realizovanou racionalizací bylo zvoleno přistavení samostatné frézky k CNC obráběcímu centru. Operace frézování drážek na hřídelích byla přesunuta z CNC stroje na vedlejší frézku. Pracoviště se stalo místem dvoustrojové obsluhy, kde pracovník obsluhuje oba stroje. Frézování drážek na frézce probíhá při práci obráběcího centra na dalším kusu.

Celá tato racionalizace výrobního procesu byla vyhodnocena i z ohledu technicko ekonomických aspektů výroby. Výsledky této racionalizace:

- zkrácení výrobního taktu
- zvýšení produktivity stroje
- možnost obrobení více kusů (více zakázek)
- eliminace času frézování drážek, které probíhá společně s prací CNC stroje
- přibližně 25% navýšení kusové výroby za směnu
- úspora normominut na výrobu jedné hřídele
- nezanedbatelné ušetření finančních prostředků na práci obráběcího centra (pro vybrané čtyři představitele hřídelí úspora přibližně 470 000 Kč za rok)
- nejsou nutné velké počáteční investice

Technologie strojírenské výroby se neustále vylepšují a zdokonalují. V době dnešního trhu můžeme pozorovat jak masivní pokrok výrobních technologií, tak i neustále kvalitnější, výkonnější a celkově více a více automatizovanější výrobní stroje. Klade se důraz i na celkové možnosti výrobních strojů, jako jejich flexibilita při možnosti využití hned několika technologií jedním obráběcím strojem.

Poslední částí práce je diskuze a zhodnocení dosažených výsledků. Dalším návrhem pro racionalizaci tohoto pracoviště do budoucna je jeho plná automatizace, neboli přistavení manipulačního robota mezi obráběcí centrum a vedlejší frézku.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. KOCMAN, Karel a Jaroslav PROKOP. Technologie obrábění. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2001. 270 s. ISBN 80-214-1996-2.
2. ZEMČÍK, Oskar. TECHNOLOGICKÉ PROCESY: část obrábění, učební texty kombinovaného bakalářského studia. *Ústav strojírenské technologie VUT* [online]. Brno [cit. 2018-03-26]. Dostupné z: <http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/studijni-opory/TechnProcesy.pdf>
3. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
4. HUMÁR, Anton. *TECHNOLOGIE I: Základní metody obrábění - 1. část* [online]. Brno, 2004 [cit. 2018-03-26]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/zakl_met_obr/zakl_met_obr_1.pdf
5. MMSpektrum. *Www.mmspektrum.com* [online]. [cit. 2018-03-15]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/multimedia/image/98/9890.jpg>
6. ŠTULPA, Miloslav. *CNC obráběcí stroje a jejich programování*. Praha: BEN - technická literatura, 2006. ISBN 978-80-7300-207-7.
7. *VÝVOJOVÉ TRENDY SOUDOBÝCH OBRÁBĚCÍCH STROJŮ* [online]. [cit. 2018-03-15]. Dostupné z: https://www.moodle-trebesin.cz/pluginfile.php/11313/mod_resource/content/1/V%C3%9DVOJOV%C3%89%20TRENDY%20OBR%C3%81B%C4%9AC%C3%8DCH%20STROJ%C5%AE.pdf
8. Akademie CNC obrábění. *Www.technickytydenik.cz* [online]. [cit. 2018-03-15]. Dostupné z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/serialy/akademie-cnc/akademie-cnc-obrabeni-12_8547.html
9. ŠTULPA, Miroslav. *CNC obráběcí stroje*. 2. dotisk, 1. vydání. Praha: BEN - technická literatura, 2008, 128 s. ISBN 978-80-7300-207-7.
10. Lucas Machinery LTD. *Www.machines.co.nz* [online]. [cit. 2018-03-16]. Dostupné z: <http://machines.co.nz/product/pinnacle-manual-milling-machine-pk-fv3/>
11. *Frézování* [online]. SPŠ Zengrova. [cit. 2018-03-16]. Dostupné z: https://www.spszengrova.cz/texty/texty/STT/STT2-10_Frezovani_RAJ.pdf
12. *Knuth Machine Tools* [online]. [cit. 2018-03-19]. Dostupné z: <http://www.knuth-machinetools.com/>

13. Frézka portálová FP 12. In: *FERMAT* [online]. [cit. 2018-03-26]. Dostupné z: <http://www.fermatmachinery.com/pouzite-stroje/frezka/portalova/fp-12-cs-171430/>
14. Stroje pro frézování. *ELUC* [online]. [cit. 2018-03-19]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1227>
15. *Pantografická frézka* [online]. In: . [cit. 2018-03-19]. Dostupné z: <http://www.akkstroje.cz/getfile/images-a/103513-1/frezky-univerzalne-pantograficka-frezka-mp-200m-103513-1.jpg>
16. SIEMENS Česká republika. *Siemens* [online]. [cit. 2018-03-19]. Dostupné z: http://w5.siemens.com/web/cz/cz/corporate/portal/home/o_nas/pages/profil_spolecnosti.aspx
17. Siemens elektromotory Mohelnice. In: *ELogistika* [online]. [cit. 2018-03-19]. Dostupné z: <https://www.elogistika.info/wp-content/uploads/2015/09/34-35-GX-Solutions.jpg>
18. VTC Customized Vertical Shaft Machining. *EMAG: Manufacturing Systems for Precision Metal Components* [online]. [cit. 2018-03-19]. Dostupné z: <http://www.emag.com/machines/turning-machines/customized-shaft-machining-vtc/vtc-250-250-duo.html>
19. Shaft Machining on VTC Series Machines. *Machine Tools* [online]. [cit. 2018-03-19]. Dostupné z: https://static.machinetools.com/uploads/2721208/vtc_en.pdf
20. POKORNÝ, Zdeněk. *Zásady vícestrojové obsluhy*. Brno: Dům techniky ČSVTS Brno, 1989. ISBN 80-02-99869-3.
21. ZEMČÍK, Oskar. *Technologická příprava výroby*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2002. ISBN 80-214-2219-x.
22. Mechanické vlastnosti ocelí. *T-PROM s.r.o.* [online]. [cit. 2018-03-21]. Dostupné z: <http://www.tprom.cz/mechanicke-vlastnosti-oceli>
23. Přesné broušení. In: *Www.vopss.cz* [online]. [cit. 2018-03-15]. Dostupné z: <http://www.vopss.cz/images/themepic2.jpg>
24. *Průmysl 4.0* [online]. [cit. 2018-03-26]. Dostupné z: http://www.utee.feec.vutbr.cz/iet/wp-content/uploads/sites/2/2016/10/Industry4_0_Marcon.pdf
25. Tváření závitů. In: *Www.thermdrill.cz* [online]. [cit. 2018-03-15]. Dostupné z: <http://www.thermdrill.cz/images/princip-zavity.png>

26. Automatizace HW. *Www.automatizace.hw.cz* [online]. [cit. 2018-03-15]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/mimochodem/co-je-se-skryva-pod-vyrazy-industry-40-prumysl-40.html>
27. Český průmysl obráběcích strojů: Budoucí trendy a témata oboru obráběcích strojů [online]. 2015 [cit. 2018-03-26]. Dostupné z: [http://www.rcmt.cvut.cz/file/?\\$redakce\\$download\\$cz\\$Technik_2015_01_30-32.pdf](http://www.rcmt.cvut.cz/file/?$redakce$downloadczTechnik_2015_01_30-32.pdf)
28. HSC - Vysokorychlostní obrábění. In: *WerkzeugTechnik Plettenberg: HSC – HIGH SPEED CUTTING* [online]. [cit. 2018-04-11]. Dostupné z: http://www.wtplettenberg.de/fileadmin/_processed_/3/3/csm_DSC_8218_4d93ce7a2d.jpg
29. Normování časů: Klasifikace druhů spotřeby času. *ELUC* [online]. [cit. 2018-04-11]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1345>
30. ČSN 41 1600 (411600) A Ocel 11 600. Praha: Český normalizační institut, 1992. Dostupné také z: <http://csnonline.agentura-cas.cz/>
31. SVOBODA, Rostislav. Průmyslové roboty: Proč se vyplatí investovat do manipulačních robotů. *Factory Automation* [online]. 2016 [cit. 2018-04-23]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/proc-se-vyplati-investovat-do-manipulacnich-robotu/>
32. SVIA INDUSTRIAL AUTOMATION. FeedLine with ABB IRB 1600 tending a Chiron FZ 12K S CNC: Robot u CNC stroje. In: *Youtube* [online]. 2011 [cit. 2018-04-23]. Dostupné z: https://i.ytimg.com/vi/hEGVV48Mi_4/maxresdefault.jpg
33. EMCO MAIER. Design to Cost: EMCOMILL E1200 – E900 – E600 – E350. *EMCO GROUP* [online]. Hallein-Taxach [cit. 2018-04-23]. Dostupné z: https://www.emco-world.com/uploads/tx_commerce/E1200-900-600_350DE_02.pdf
34. MMV 2000. *EMCO GROUP* [online]. 2017 [cit. 2018-04-23]. Dostupné z: <https://www.emco-world.com/en/products/industry/milling/cat/24/d/2/p/40%2C24/pr/mmv-2000.html>
35. EMCOMILL 1200. *EMCO GROUP* [online]. 2017 [cit. 2018-04-23]. Dostupné z: <https://www.emco-world.com/en/products/industry/milling/cat/27/d/2/p/1000008%2C27/pr/emcomill-1200.html>

36. Drážkovací fréza ze slinutého karbidu. *Walter Tools* [online]. [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: <https://www.walter-tools.com/cs-CZ/search#/milling/solid-carbide-pcd-and-hss-milling-tools/solid-carbide-milling-tools/shoulder-slot-milling-cutters>
37. EMCO. EMCO mit E900 zur Metav. *ZERSPANUNGSTECHNIK* [online]. Hallein - Taxach, 2008 [cit. 2018-04-26]. Dostupné z: http://www.zerspanungstechnik.com/detail/emco-mit-e900-zur-metav_17755
38. PROTECH SPT S.R.O. Rostoucí požadavky na kvalitu hran a povrchu plechových dílů. *KOVOINZERT* [online]. 18.3.2013 [cit. 2018-05-04]. Dostupné z: <http://infocube.cz/cs/rostouci-pozadavky-na-kvalitu-hran-a-povrchu-plechovych-dilu/>
39. *CoroMill 495: The universal chamfer cutter from Sandvik Coromant* [online]. In: . 20.5.2014 [cit. 2018-05-04]. Dostupné z: <http://news.cision.com/sandvik-coromant-/i/coromill-495--the-universal-chamfer-cutter-from-sandvik-coromant,c1489851>
40. SNIŽOVÁNÍ VÝROBNÍCH NÁKLADŮ: Efektivní odjehlování a srážení hran. *TECHNICKÝ PORTÁL* [online]. 7.5.2014 [cit. 2018-05-04]. Dostupné z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/serialy/snizovani-vyrobnich-nakladu/snizovani-vyrobnich-nakladu-bez-velkych-investic-5_25266.html
41. Robotizované pracoviště SP 15 CNC. *Evropská databanka: CNC Stroje Čelákovice* [online]. [cit. 2018-05-09]. Dostupné z: <https://www.edb.cz/firma-337223-cz-tech-celakovice>

Seznam použitých symbolů a zkratk

Zkratka	Jednotka	Popis
AG	[-]	Aktiengesellschaft – akciová společnost
AH	[-]	osová výška
CNC	[-]	computer numerical control – počítačově řízené
EU	[-]	Evropská unie
HFC	[-]	high feed cutting – vysokoposuvové obrábění
HPC	[-]	high productive cutting – vysokoproduktivní obrábění
HRC	[-]	tvrdost Rockwell
HSC	[-]	high speed cutting – vysokorychlostní obrábění
ICT	[-]	information and communication technology – informační a komunikační technologie
IT	[-]	information technology – informační technologie
VBD	[-]	vyměnitelná břitová destička
VTC	[-]	vertical turning center – vertikálně otočné obráběcí centrum
3D	[-]	trojrozměrný prostor

Symbol	Jednotka	Popis
A_5	[%]	tažnost
a_p	[mm]	šířka záběru ostří
D	[mm]	vnější průměr vrtáku
d	[mm]	vnitřní průměr vrtáku
D_c	[mm]	vnitřní průměr frézy
d_1	[mm]	vnější průměr frézy
F	[N]	$síla_a$
F_c	[N]	řezná síla
F_o	[N]	síla odporu proti posuvu
F_v	[N]	výsledná síla
f_z	[mm]	posuv na zub
L_c	[mm]	délka frézovacího břitu
L_1	[mm]	celková dráha nástroje
l_1	[mm]	celková délka nástroje
l_4	[mm]	délka řezné části nástroje
n	$[min^{-1}]$	otáčky
N_{ak}	[Kč]	aktuální cena práce
N_{akC}	[Kč]	výrobní cena celkem
N_p	[Kč]	výrobní cena práce stroje
N_{rac}	[Kč]	cena práce po racionalizaci

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symbol	Jednotka	Popis
N_{racC}	[Kč]	výrobní cena celkem po racionalizaci
$N_{ús}$	[Kč]	roční úspora
Q_C	[ks]	počet kusů vyrobených po racionalizaci
$Q_{mož}$	[ks]	možné navýšení počtu kusů
Q_P	[ks]	původní počet vyrobených kusů
Q_r	[ks]	přibližný počet kusů za rok
R_e	[MPa]	mez kluzu
R_m	[MPa]	mez pevnosti
t_A	[min]	čas jednotkový
t_{A11}	[min]	čas jednotkový za klidu
t_{A12}	[min]	čas jednotkový za chodu
t_{A13}	[min]	čas jednotkový strojově-ruční
t_{AS}	[min]	čas jednotkový strojní
t_{AX}	[min]	čas nepravidelné obsluhy
t_B	[min]	čas dávkový
t_C	[min]	čas směnový
t_F	[min]	čas frézování
t_m	[min]	spotřeba času výrobního zařízení
t_N	[min]	čas normovatelný
t_{nor}	[min]	současná normominutáž na kus
t_{nor1}	[min]	normominutáž na kus po racionalizaci
t_{norC}	[min]	celková roční normominutáž na kus
t_q	[min]	spotřeba času pracovních předmětů
t_S	[min]	čas za směnu
$t_{ús}$	[min]	úspora normominut
t_Z	[min]	čas ztrátový
t_1	[min]	čas práce
t_2	[min]	čas obecně nutných přestávek
t_3	[min]	čas podmíněčně nutných přestávek
t_4	[min]	čas chodu stroje
t_{41}	[min]	čas hlavního chodu stroje
t_{42}	[min]	čas pomocného chodu stroje
t_5	[min]	čas klidu stroje
t_6	[min]	čas interference
t_7	[min]	čas pohybu pracovního předmětu
t_{71}	[min]	čas přeměny
t_{72}	[min]	čas přemístění
t_{73}	[min]	čas kontroly
t_{74}	[min]	čas balení

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symbol	Jednotka	Popis
t_8	[min]	čas klidu pracovního předmětu
t_{81}	[min]	čas skladování
t_{82}	[min]	čas uložení
v_c	$[m.min^{-1}]$	řezná rychlost
v_f	$[mm.min^{-1}]$	posuvová rychlost
z	[-]	počet zubů